



TUGAS AKHIR – TM 141585

**RANCANG BANGUN STRUKTUR DAN MEKANISME
PEMBEBANAN TRIBOMETER TIPE *PIN-ON-PLATE*
GERAKAN *RECIPROCATING* DENGAN PENGGERAK
*ELECTROPNEUMATIC***

Kun Mukhammad Wafda
NRP 2111 106 016

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani MSc.E.

Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TM 141585

**DESIGN TRIBOMETER STRUCTURE AND
MECHANISM LOADING RECIPROCATING MOTION
PIN - ON - PLATE TYPE WITH ELECTROPNEUMATIC
DRIVER**

Kun Mukhammad Wafda
NRP 2111 106 016

Adviser Lecture
Ir. Yusuf Kaelani MSc.E.

Mechanical Engineering Department
Industrial Engineering Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

**RANCANG BANGUN STRUKTUR DAN MEKANISME
PEMBEBANAN TRIBOMETER TIPE *PIN-ON-PLATE*
GERAKAN *RECIPROCATING* DENGAN PENGGERAK
*ELECTROPNEUMATIC***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Mekanika Benda Padat
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

KUN MUKHAMMAD WAFDA

NRP. 2111 106 016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.
NIP. 196511031990021001

2. Alief Wikarta, ST., M.Sc PhD.
NIP. 198202102006041002

3. Ir. J. Lubi
NIP. 194802201976031001



**SURABAYA
JULI 2015**

RANCANG BANGUN STRUKTUR DAN MEKANISME PEMBEBANAN TRIBOMETER TIPE *PIN-ON-PLATE* GERAKAN *RECIPROCATING* DENGAN PENGGERAK *ELECTROPNEUMATIC*

Nama mahasiswa : Kun Mukhammad Wafda
NRP : 2111 106 016
Jurusan : Teknik Mesin FTI –ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E.

Abstrak

Dalam pengembangan ilmu tribologi terutama untuk keperluan penelitian, sangat dibutuhkan alat-alat pengujian khususnya alat uji gesekan dan keausan. Namun di Indonesia alat-alat uji tribologi masih jarang sekali. Penelitian yang pernah dilakukan tentang tribometer tipe *pin-on-plate* adalah menggunakan mekanisme *rod* sebagai pengubah dari putaran motor menjadi gerakan *reciprocating*, namun menghasilkan osilasi yang besar sehingga pengukuran yang dilakukan menjadi kurang presisi.

Pada penelitian ini akan dirancang alat tribometer tipe *pin-on-plate* dengan gerakan *reciprocating* (bolak-balik) yang digerakkan menggunakan *electropneumatic*. Tribometer ini akan dirancang untuk kapasitas maksimal pembebanan 5 kg dan maksimal kecepatan *sliding* maksimal mencapai 300 mm/sec. Dari spesifikasi yang ditentukan nantinya akan dihitung dimensi komponen dan mekanisme pembebanan dari alat tribometer *pin-on-plate* tersebut.

Dari penelitian ini didapatkan diameter poros yang digunakan untuk mekanisme pembebanan pada *load adjuster* dengan beban maksimal 5 kg adalah 12 mm. Pegas yang digunakan pada untuk meneruskan gaya pembebanan memiliki kekakuan rata-rata sebesar 0.1272 kg/mm. Dan dari uji keakurasian untuk mekanisme pembebanan yang dilakukan pada pembebanan 1 kg sampai 5 kg menghasilkan nilai *Root Mean Square* (RMS),

penyimpangan rata – rata, dan kesalahan relatif yang kecil sehingga tribometer tipe *pin – on – plate* ini layak digunakan.

Kata Kunci: *Tribology*, tribometer *pin-on-plate*, *reciprocating* tribometer, mekanisme pembebanan tribometer.

DESIGN TRIBOMETER STRUCTURE AND MECHANISM LOADING RECIPROCATING MOTION PIN - ON - PLATE TYPE WITH ELECTROPNEUMATIC DRIVER

Name : Kun Mukhammad Wafda
NRP : 2111 106 016
Department : Mechanical Engineering FTI –ITS
Advisor Lecture : Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E.

Abstract

In the development of the science of Tribology mainly for research purposes , it is very necessary tools , especially testing friction and wear testing device . But in Indonesia, Tribology test equipment is still rare. Research has ever done about Tribometer type of pin -on - plate is used as a modifier rod mechanism of rotation of the motor into a reciprocating movement , but produce large oscillations so that the measurements made to less precision.

This research will be designed Tribometer type pin -on - plate with a reciprocating movement are driven using the electropneumatic. Tribometer will be designed for maximum loading capacity of 5 kg and a maximum speed of sliding up to 300 mm / sec . From the prescribed specifications will be calculated the dimensions of components and the loading mechanism of the tool Tribometer pin -on – plate.

From this study, the diameter of the shaft that is used for loading the load adjuster mechanism with a maximum load of 5 kg is 12 mm. Spring that use for the loading force to continue to specimen have average stiffness of 0.1272 kg / mm. And the accuracy test to be done on the loading mechanism loading 1 kg to 5 kg produce Root Mean Square (RMS), average deviation, and

the relative error value is small, so tribometer type pin - on - plate is fit for use .

Keyword : Tribology, tribometer pin-on-plate, reciprocating tribometer, loading mechanism tribometer.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-NYA sehingga Tugas Akhir yang saya kerjakan dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini saya susun dengan bidang studi Desain dengan judul “Rancang Bangun Struktur dan Mekanisme Pembebanan Tribometer Tipe Pin-On-Plate Gerakan Reciprocating dengan Penggerak Electropneumatic”. Saya juga tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ir. Bambang Pramujati, M. Eng, Sc, PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc. E, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA., selaku dosen wali
4. Ir. J. Lubi, selaku dosen penguji 1 Seminar Proposal dan Sidang Tugas Akhir
5. Alief Wikarta, ST., M.Sc PhD., selaku dosen penguji 2 Seminar Proposal dan sidang Tugas Akhir
6. Ir. Arino Anzip, M.Eng.Sc., selaku dosen penguji 3 seminar Proposal Tugas Akhir.
7. Arif Wahyudi, ST.MT., selaku kasie Proposal dan Tugas Akhir.
8. Kedua orang tua yang senantiasa mendukung dan membantu baik secara finansial dan dukungan doa yang tak terbatas kepada penulis.
9. Teman – teman Lintas Jalur yang telah membantu dan mendukung penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu per satu

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan. Kami menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir saya. Semoga laporan Tugas Akhir yang saya buat dapat bermanfaat

Wassalamu'alaikum wr. wb

Surabaya, 30 Juli 2015

Kun Mukhammad Wafda

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

TITTLE PAGE

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK..... i

ABSTRACT iii

KATA PENGANTARv

DAFTAR ISI..... vii

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL..... xi

BAB I PENDAHULUAN1

1.1 Latar Belakang1

1.2 Rumusan Masalah2

1.3 Batasan Masalah2

1.4 Tujuan Penelitian2

1.5 Manfaat Penelitian3

1.6 Sistematika Penulisan Laporan3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....5

2.1 Tinjauan Pustaka.....5

2.1.1 Tribometer Tipe *Pin-On-Plate* Karya Abdul Ghoffar ...5

2.1.2 Tribometer *Pin-On-Plate* Yang Ada Di Pasaran6

2.2 Dasar Teori8

2.2.1 Sifat Umum Alat Ukur Dan Pengukuran8

2.2.2 Alat Ukur Tribometer10

2.2.2.1 Jenis – Jenis Tribometer10

2.2.3 Teori Pegas13

2.2.3.1 Tipe Pegas14

2.2.3.2 Material Pegas16

2.2.3.3 Perhitungan Kekakuan Pegas17

2.2.4 *Shaft*18

2.2.5 *Free Body Diagram* Dan Persamaan Kesetimbangan 19

2.2.6 Baut Dan Mur20

2.2.6.1 Baut Dan Mur Putus Akibat Terkena Gaya Geser	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Metode Perancangan.....	23
3.2 Flowchart Perancangan.....	26
3.3 Flowchart Kalibrasi Pembebanan	27
3.4 Bagian Utama Dari Tribometer <i>Pin-On-Plate</i>	28
3.4.1 Komponen Penyusun <i>Load Adjuster</i>	29
3.5 Perhitungan Diameter Baut.....	44
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Rancang Bangun Tribometer Tipe <i>Pin-On-Plate</i>	47
4.2 Kalibrasi Beban Pada <i>Load Adjuster</i>	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	xii
LAMPIRAN.....	xiii
BIODATA PENULIS.....	xiv

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Tribometer Buatan Abdul Ghoffar.....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi Tribometer CSM Dan Nanovea	7
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Material Pegas Yang Umum Digunakan	16
Tabel 2.3 Sifat Mekanik Material Pegas Yang Umum Digunakan (Lanjutan)	17
Tabel 4.1 Kalibrasi Beban	49
Tabel 4.2 Perubahan Nilai Kekakuan Akibat Perubahan Beban .	50
Tabel 4.3 Hasil Uji Keakurasian	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tribometer Karya Abdul Ghoffar.....	5
Gambar 2.2 Linier CSM Tribometer (A) Dan Nanovea Linear Tribometer (B).....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi Akurasi dan Presisi	8
Gambar 2.4 Tribometer Tipe <i>Pin-On-Plate</i>	10
Gambar 2.5 Tribometer Tipe <i>Pin-On-Disc</i>	11
Gambar 2.6 Tribometer Tipe <i>Plate-On-Plate</i>	11
Gambar 2.7 Tribometer Tipe <i>Disc-On-Disc</i>	12
Gambar 2.8 Tribometer Tipe <i>Pin-On-Vee Block</i>	12
Gambar 2.9 Tribometer Tipe <i>Ball-On-Plate</i> (a) Dan <i>Ball-On Disc</i> (b)	13
Gambar 2.10 <i>Helical Spring</i>	14
Gambar 2.11 <i>Conical</i> dan <i>Volute Spring</i>	14
Gambar 2.12 Pegas Torsi.....	15
Gambar 2.13 Pegas Daun	15
Gambar 2.14 Pegas Piringan	16
Gambar 2.15 Pegas Terdefleksi Akibat Beban.....	18
Gambar 2.16 Bagian Baut Dan Mur.....	20
Gambar 2.17 Gaya Geser Pada Baut	21
Gambar 3.1 Konsep Rancangan Tribometer Tipe <i>Pin-On-Plate</i>	24
Gambar 3.2 Flowchart Perancangan.....	26
Gambar 3.3 Flowchart Kalibrasi Pembebanan	27
Gambar 3.4 Bagian Utama Tribometer <i>Pin-On-Plate</i>	28
Gambar 3.5 Komponen Penyusun <i>Load Adjuster</i>	29
Gambar 3.6 Ulir <i>Load Adjuster</i>	30
Gambar 3.7 Penutup <i>Casing Holder</i>	30
Gambar 3.8 <i>Dummy</i>	31
Gambar 3.9 Pegas	32
Gambar 3.10 <i>Casing Holder</i>	32
Gambar 3.11 Diameter Lengan Poros Dari <i>Casing Holder</i>	33
Gambar 3.12 <i>Fre Body Diagram</i> Gaya Yang Bekerja Pada <i>Casing Holder</i>	33
Gambar 3.13 <i>Free Body Diagram</i> Gaya Pada Bidang X – Y.....	34

Gambar 3.14 Potongan 1-1 Bidang X – Y	35
Gambar 3.15 Potongan 2-2 Bidang X – Y	35
Gambar 3.16 Diagram Bidang Momen Poros Bidang Vertikal...	36
Gambar 3.17 <i>Free Body Diagram</i> Gaya Pada Bidang X – Z.....	36
Gambar 3.18 Potongan 1-1 Bidang X – Z.....	37
Gambar 3.19 Potongan 2-2 Bidang X – Z.....	37
Gambar 3.20 Diagram Bidang Momen Poros Bidang Horizontal	38
Gambar 3.21 Gaya Yang Menyebabkan Torsi Pada <i>Casing Holder</i>	39
Gambar 3.22 Letak Torsi (a), Letak Tumpuan (b), Letak Gaya Normal.....	41
Gambar 3.23 Hasil Meshing Casing Holder.....	41
Gambar 3.24 Distribusi Tegangan Pada Lengan <i>Casing Holder</i>	42
Gambar 3.25 <i>Displacement</i> Pada Lengan <i>Casing Holder</i>	42
Gambar 3.26 <i>Pin Holder</i>	43
Gambar 3.27 Gaya Geser Pada Baut	44
Gambar 4.1 Rancang Bangun Tribometer Tipe <i>Pin-On-Plate</i>	47
Gambar 4.2 Timbangan Digital	48
Gambar 4.3 Penandaan Skala Terukur	49
Gambar 4.4 Grafik Karakteristik Linearitas Pegas.....	50
Gambar 4.5 Grafik Data Kalibrasi Beban Pada Tiap Skala Terukur	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu fenomena yang terjadi dalam bidang pemesinan adalah fenomena kontak antar komponen. Kontak yang terjadi antar komponen bisa berupa *static contact*, *rolling contact*, atau *sliding contact*. Kontak mekanik (*contact mechanics*) merupakan hal yang penting, karena dapat mempelajari bagaimana struktur topografi permukaan (*asperity*) mengalami deformasi, sedangkan ilmu yang mempelajari tentang interaksi antar permukaan yang bergerak relatif satu sama lain adalah *tribology*.

Tribology adalah salah satu ilmu terapan di bidang teknik mesin yang mempelajari gesekan, keausan dan pelumasan, memberikan kontribusi dalam upaya meminimalkan keausan akibat kontak antara dua permukaan, sehingga dapat diterapkan di industri untuk menganalisa kasus kegagalan atau kerusakan pada komponen mesin.

Dalam pengembangan ilmu tribologi terutama untuk keperluan penelitian, sangat dibutuhkan alat-alat pengujian khususnya alat uji gesekan dan keausan. Namun di Indonesia alat-alat uji tribologi masih jarang sekali. Penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya telah membuat alat uji gesekan dan keausan atau tribometer tipe *pin-on-disc* dengan gerakan 1 arah saja. Pernah didesain juga untuk 2 arah dengan mekanisme *crankshaft* namun menimbulkan osilasi yang tinggi sehingga menyebabkan hasil pengujian yang kurang presisi. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dirancang alat tribometer *pin-on-plate* untuk 2 arah dengan gerakan *reciprocating* yang digerakkan dengan *electropneumatic*, dimana nantinya hasilnya diharapkan bisa mengurangi osilasi yang terjadi dan gerakan *reciprocating* yang lebih *smooth* sehingga didapatkan hasil pengujian yang lebih presisi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang struktur alat uji Tribometer tipe *pin-on-plate* gerakan *reciprocating* yang menggunakan *electropneumatic* sebagai penggerak dengan pembebanan maksimal 5 kg?
2. Bagaimana merancang mekanisme pembebanan dari tribometer *pin – on – plate*?
3. Bagaimana mengetahui dimensi dari komponen-komponen Tribometer *pin-on-plate* yang akan dibuat?

1.3 Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah pada Tugas Akhir ini agar tidak melebar dan menjadi terarah walaupun menjadi kekurangan dari Tugas Akhir ini :

1. Rancang bangun alat difokuskan pada fungsi alat itu sendiri.
2. Material disesuaikan dengan kondisi pasar.
3. Pembuatan alat tidak dilakukan sendiri.
4. Pembebanan maksimal 5 kg.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat mekanisme alat uji Tribometer tipe *pin-on-plate* gerakan *reciprocating* yang menggunakan *electropneumatic* sebagai penggerak dengan pembebanan maksimal 5 kg.
2. Membuat mekanisme pembebanan dari tribometer *pin – on – plate*.
3. Mengetahui dimensi dari komponen-komponen Tribometer *pin-on-plate* yang akan dibuat.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Tribometer dapat dilakukan untuk memprediksi umur komponen dengan cara mengetahui volume keausan
2. Mahasiswa untuk lebih memahami ilmu *tribology* dan fenomena keausan.
3. Membantu mahasiswa untuk lebih memahami konsep pengembangan dan perancangan dari produk.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika laporan pada laporan ini dibagi dalam beberapa bab, susunannya adalah sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan
Bab ini berisi tentang latar belakang dari tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, batasan masalah dari tugas akhir, manfaat tugas akhir dan sistematika penulisan laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori
Tinjauan pustaka berisi rangkuman berbagai literatur yang menunjang dalam melakukan rancang bangun. Dasar teori berisi materi-materi yang digunakan dalam melakukan data hasil pengujian.
3. Bab III Metodologi Penelitian
Bab ini berisi tentang metode yang digunakan dalam melakukan rancang bangun yang dilakukan untuk tugas akhir ini.
4. Bab IV Analisa Data dan Perhitungan
Bab ini berisi tentang hasil pengolahan dari data-data yang didapat, kemudian dilakukan analisa lebih lanjut.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran
Bab penutup ini terdiri dari kesimpulan hasil pengolahan data-data pengujian yang telah dilakukan dan saran yang perlu diberikan.

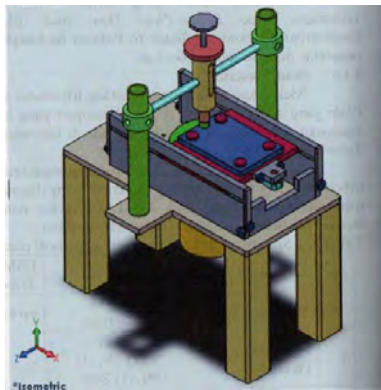
“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Tribometer Tipe *Pin-On-Plate* Karya Abdul Ghoffar

Di laboratorium ITS juga pernah dibuat tribometer *pin-on-plate* gerakan 2 arah yang dibuat oleh abdul ghoffar. Berikut adalah rancang bangun alat tribometer tersebut:



Gambar 2.1 Tribometer Karya Abdul Ghoffar

Prinsip kerja dari gerakan *slide* mesin berasal dari motor yang berputar dan dirubah oleh *connecting rod*. *Connecting rod* berfungsi merubah gerakan rotasi dari motor menjadi gerakan translasi. Pada rod tersebut diberi pelat untuk meletakkan spesimen uji. Sedangkan pembebanannya memanfaatkan gaya pegas yang mendapat tekanan dari penekan *hold pin*. Dari perancangan tribometer tersebut menghasilkan tribometer dengan spesifikasi sebagai berikut:

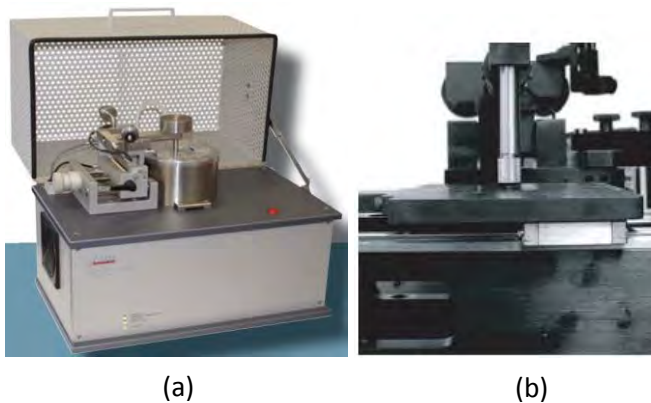
Tabel 2.1. Spesifikasi Tribometer Buatan Abdul Ghoffar

<i>Disc Rotation Speed</i>	4.4 – 55.4 rpm
<i>Linier Speed</i>	290 mm/s
<i>Maximum Normal Load</i>	50 N
<i>Wear measurement range</i>	10 mm
Diameter Pin	8 – 15 mm
Diameter Plate	140 x 30 x 20 mm
<i>Stroke Length</i>	100 mm
<i>Hardness</i>	24.1 – 33.8 MPa

2.1.2 Tribometer *Pin-On-Plate* Yang Ada Di Pasaran

Selain melakukan studi literatur yang sudah ada di jurnal dan laboratorium ITS, juga dilakukan studi pada alat tribometer yang sudah ada di pasaran sebagai referensi untuk menentukan parameter-parameter yang akan digunakan dalam rancangan tribometer pada tugas akhir ini. Ada berbagai macam desain tribometer yang ada di pasaran, kebanyakan tribometer yang ditawarkan untuk jenis *pin-on-plate* adalah dengan penggerak motor yang dirubah gerakannya menjadi linier menggunakan *connecting rod*. Namun ada juga yang menggunakan udara bertekanan namun jumlahnya lebih sedikit.

Tribometer yang digunakan sebagai referensi pada tugas akhir ini adalah Linear CSM Tribometer dan Nanovea Linear Tribometer.



Gambar 2.2 Linier CSM Tribometer (a) dan Nanovea Linear Tribometer (b)

Tabel 2.2. Spesifikasi Tribometer CSM Dan Nanovea

No	Spesifikasi	Nanovea	CSM Tribometer
1	<i>Maximum Load</i>	40 N(up to 500N option)	Up to 60 N
2	<i>Normal Force</i>	(1)1N, (2)2N, (1) 5N, (1) 10N, (1) 20N	-
3	<i>Maximum Torque</i>	1270 Nm	-
4	<i>Linier Speed</i>	Up to 140 mm/s	Up to 100 mm/sec
5	<i>Maximum Friction Force</i>	20 N	10 N (20N option)
6	<i>Stroke Length</i>	0 to 35 mm Adjustable	60 mm

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sifat Umum Alat Ukur dan Pengukuran

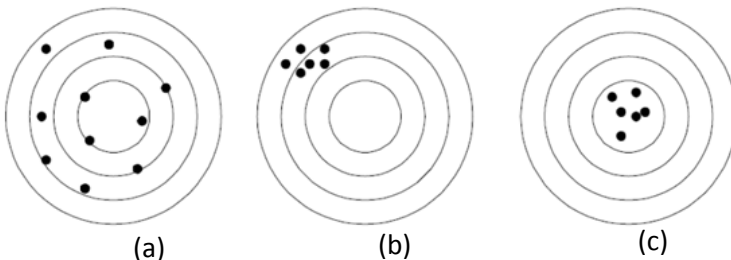
Secara umum dikatakan bahwa pengukuran adalah membandingkan sesuatu dengan besaran standar. Agar dapat digunakan, maka besaran standar tersebut harus dapat didefinisikan secara fisik, tidak berubah karena waktu, dan harus dapat digunakan sebagai alat pembanding di mana saja, besaran standar tentunya memerlukan satuan-satuan dasar. Sistem metrik digunakan oleh hampir seluruh negara-negara industri dimana satuan dasarnya banyak mengikuti *international system of units* atau SI Units yang di dalamnya dikenalkan bermacam-macam satuan dasar. Untuk dapat melakukan pengukuran dengan bantuan satuan dasar tersebut diperlukan alat ukur. Beberapa sifat dari pengukuran antara lain :

1. Ketelitian (*accuracy*)

Ketelitian adalah kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari obyek yang diukur. Ketepatan pengukuran didefinisikan sebagai beda atau kedekatan (*closeness*) antara nilai yang terbaca dari alat ukur dengan nilai sebenarnya.

2. Ketepatan (*precision*)

Secara umum ketepatan dapat didefinisikan sebagai kemampuan alat ukur untuk menunjukkan hasil yang relatif sama pada pengulangan pengukuran berkali-kali.



Gambar 2.3 Ilustrasi Akurasi dan Presisi

Digambarkan seperti permainan panahan dengan sasaran lingkaran seperti pada gambar 2.3, maka apabila mengenai lingkaran paling kecil artinya memiliki akurasi yang tinggi. Pada gambar 2.3 (a) berarti akurasi dan kepresisian rendah. Sedangkan pada gambar 2.3(b) memiliki akurasi rendah namun kepresisiannya tinggi karena dapat mengenai sasaran yang relatif sama dan berulang. Sedang pada gambar 2.3(c) merupakan contoh dari akurasi dan kepresisian yang tinggi.

Alat ukur merupakan alat yang dibuat oleh manusia, oleh karena itu ketidaksempurnaan merupakan ciri utamanya. Meski alat ukur direncanakan dan dibuat dengan teliti, ketidaksempurnaan sama sekali tidak bisa dihilangkan. Justru dalam ketidaksempurnaan ini alat ukur sering dianggap cukup baik untuk digunakan dalam suatu proses pengukuran selama pemakainya memahami keterbatasan dari alat ukur tersebut. Berikut adalah beberapa sifat umum dari alat ukur, antara lain:

1. Kalibrasi

Kalibrasi (peneraan) pada dasarnya serupa dengan pengukuran yaitu membandingkan suatu besaran dengan suatu besaran standar yang diakui.

2. Kecermatan

Kecermatan alat ukur ditentukan oleh kecermatan skala dengan cara pembacaannya. Pada umumnya kecermatan alat ukur bisa dibagi menjadi 3 yaitu kecermatan skala yang menggunakan jarak anta garis skala, kecermatan interpolasi nonius yang menggunakan bantuan skala nonius, dan kecermatan menggunakan penunjuk digital dimana kecermatan alat ukur diwakili angka paling kanan (angka satuan terkecil).

3. Keterbacaan

Dikarenakan pengamat akan dapat lebih mudah dan cepat membaca hasil pengukuran, maka secara umum keterbacaan penunjuk digital lebih tinggi dari keterbacaan skala maupun garis indeks dengan skala nonius.

2.2.2 Alat Ukur Tribometer

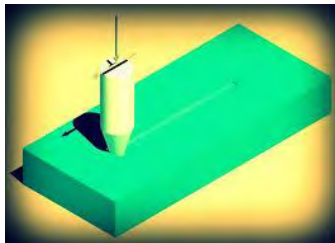
Secara umum tribometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur gesekan dan keausan antara dua permukaan. Ada beberapa desain pada tribometer, yang sering digunakan adalah desain dengan permukaan datar atau bulat yang bergerak berulang-ulang dan bergesekan dengan permukaan lain. Sebuah material ditempatkan tepat pada bagian yang bergerak selama pengujian. Pengujian tersebut digunakan untuk mengukur keausan pada bahan dan digunakan untuk menentukan kekuatan dan panjang umur.

2.2.2.1 Jenis-Jenis Tribometer

Beberapa jenis tribometer yang dapat dijumpai antara lain :

1. Tribometer Tipe *Pin-On-Plate*

Tribometer *pin-on-plate* adalah tribometer yang menggunakan pin dan lempengan plat datar sebagai material yang bergesekan. plat datar tersebut akan bergerak dan *pin* diberikan untuk pembebanan agar permukaan pin menekan pada permukaan pelat datar.

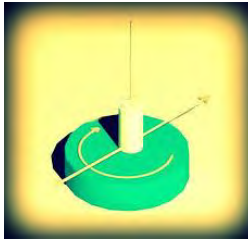


Gambar 2.4 Tribometer Tipe *Pin-On-Plate*

2. Tribometer Tipe *Pin-On-Disc*

Tribometer *pin-on-disc* adalah tribometer yang menggunakan pin dan lempengan plat datar sebagai material yang bergesekan. *Disc* akan berotasi dan pin diberikan beban agar permukaan pin menekan pada permukaan *disc*. Pada sebagian tribometer, pin dikondisikan untuk diam tetapi pada tribometer yang lain juga

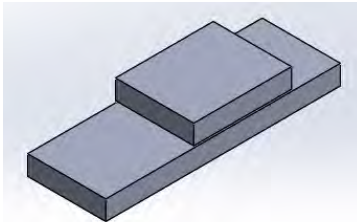
ada yang menggerakkan pin ketika diberi beban agar terjadi *sliding*.



Gambar 2.5 Tribometer Tipe *Pin-On-Disc*

3. Tribometer *Plate-On-Plate*

Tribometer ini menggunakan 2 buah material berbentuk lempengan plat datar sebagai material yang bergesekan. Pelat datar yang pertama digunakan sebagai specimen uji yang memberikan pembebanan, sedangkan plat datar yang lain akan bergerak maju mundur sehingga kedua material saling bergesekan.



Gambar 2.6 Tribometer Tipe *Plate-On-Plate*

4. Tribometer Tipe *Disc-On-Disc*

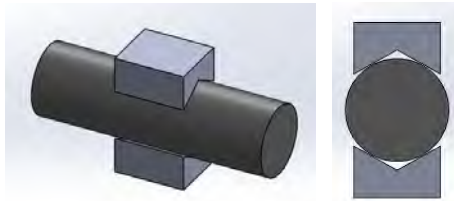
Sama halnya dengan tribometer *plate-on-plate* tribometer *disc-on-disc* menggunakan 2 buah *disc* yang saling bergesekan dan salah satu *disc* digunakan sebagai bebannya.



Gambar 2.7 Tribometer Tipe *Disc-On-Disc*

5. Tribometer Tipe *Pin-On-Vee Block*

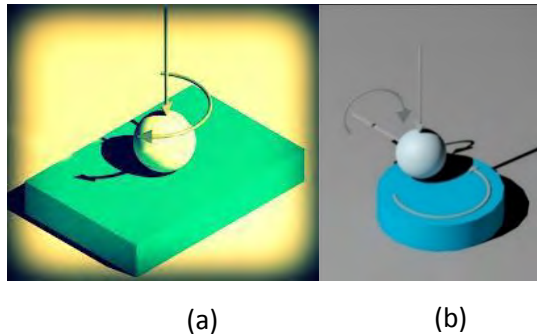
Tribometer *pin-on-vee block* adalah tribometer yang menggunakan *pin* yang berputar dan dua buah *vee block* digunakan sebagai beban. Pada umumnya tribometer tipe ini digunakan untuk pengujian gesekan dan keausan pada suatu material dengan pemberian pelumas yang banyak.



Gambar 2.8 Tribometer Tipe *Pin-On-Vee Block*

6. Tribometer Tipe *Ball-On-Plate* Dan *Ball-On-Disc*

Prinsipnya sama seperti tribometer tipe *pin-on-plate* dan *pin-on-disk*, perbedaannya adalah pada penggunaan material berbentuk bola sebagai material yang memberikan beban.



Gambar 2.9 Tribometer Tipe *Ball-On-Plate* (a) Dan *Ball-On-Disc* (b)

2.2.3 Teori Pegas

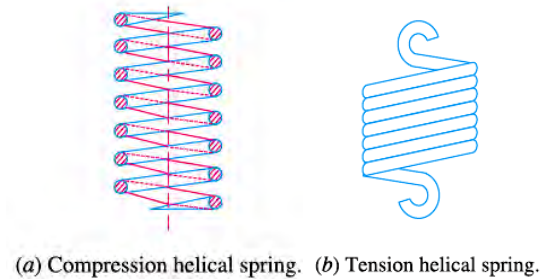
Pegas adalah elemen mesin flexibel yang digunakan untuk memberikan gaya, torsi, dan juga untuk menyimpan atau melepaskan energi. Energi disimpan pada benda padat dalam bentuk *twist*, *stretch*, atau kompresi. Energi di-*recover* dari sifat elastis material yang telah terdistorsi. Pegas haruslah memiliki kemampuan untuk mengalami defleksi elastis yang besar. Beban yang bekerja pada pegas dapat berbentuk gaya tarik, gaya tekan, atau torsi (*twist force*). Beberapa contoh aplikasi pegas adalah sebagai berikut:

1. Untuk menahan atau energi kendali akibat guncangan (*shock*) lain atau getaran seperti dalam pegas mobil, penyangga rel, *shock breaker*, dan peredam getaran.
2. Untuk mempergunakan gaya-gaya, seperti dalam rem, kopling tidak tetap dan pegas pada katup.
3. Untuk mengendalikan gerak dengan menahan kontak antara dua elemen seperti pada cam.
4. Untuk mengukur gaya-gaya, seperti dalam indikator mesin.
5. Untuk menyimpan energi, seperti pada arloji, mainan anak-anak dan lain-lain.

2.2.3.1 Tipe Pegas

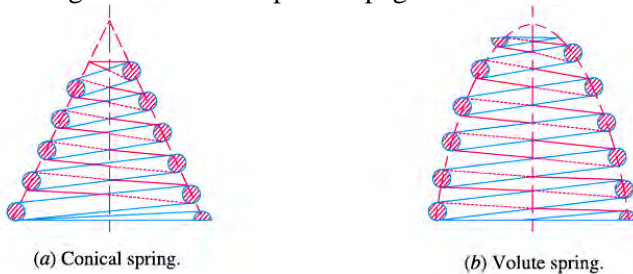
Ada bermacam-macam jenis pegas yang penting untuk diketahui sebagai berikut:

1. *Helical springs* (pegas *helix*). Pegas *helix* dibuat dari gulungan kawat berbentuk *helix* dan terutama menahan beban tekan (dinamakan pegas tekan) dan tarik (dinamakan pegas tarik) seperti pada Gambar 2.10 (a) dan (b). Bentuk penampang kawat pegas adalah bisa lingkaran, persegi atau bujur sangkar.



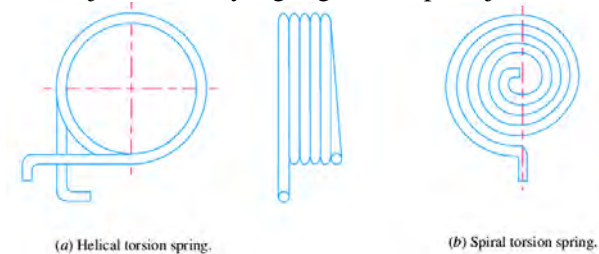
Gambar 2.10 *Helical Spring*

2. *Conical dan volute springs* (pegas kerucut). Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11, adalah digunakan dalam penerapan khusus dimana pegas ini digunakan pada aplikasi dimana bila beban bertambah maka nilai pegas (*spring rate*) juga ikut bertambah, dalam penggunaan pegas ini, jumlah lilitan akan semakin berkurang saat mendekati puncak pegas.



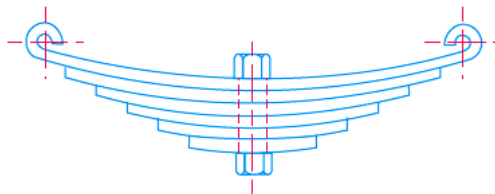
Gambar 2.11 *Conical dan Volute Spring*

3. *Torsion springs* (pegas torsi). Pegas ini bisa digolongkan jenis pegas *helix* atau spiral seperti pada Gambar 2.12 tipe *helix* digunakan hanya dalam penerapan dimana beban cenderung untuk memutar pegas dan digunakan dalam mekanika listrik. Tipe spiral juga digunakan dimana beban cenderung untuk menaikkan jumlah coil yang digunakan pada jam dinding.



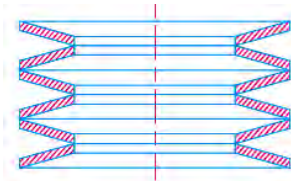
Gambar 2.12 Pegas Torsi

4. *Laminated atau leaf spring* (pegas daun). Pegas daun terdiri dari sejumlah plat tipis dengan panjang bervariasi yang ditahan bersamaan oleh *clamp* dan baut, pegas ini banyak digunakan dalam automobile.



Gambar 2.13 Pegas Daun

5. *Disc atau bellevile springs* (pegas piringan). Pegas ini terdiri dari piringan kerucut yang ditahan bersamaan berlawanan dengan pusat baut seperti pada Gambar 2.14. Pegas ini digunakan dalam aplikasi dimana membutuhkan laju pegas yang tinggi



Gambar 2.14 Pegas Piringan

2.2.3.2 Material Pegas

Material pegas yang ideal adalah material yang memiliki kekuatan ultimate yang tinggi, kekuatan *yield* yang tinggi, dan modulus elastisitas atau modulus geser yang rendah untuk menyediakan kemampuan penyimpanan energi yang maksimum.

Kekuatan ultimate dan *yield* yang tinggi dapat dipenuhi oleh baja karbon rendah sampai baja karbon tinggi, baja paduan, *stainless steel*, sehingga material jenis ini paling banyak digunakan untuk pegas. Tabel 2.3 menunjukkan sifat-sifat mekanik dari material yang umum digunakan^[7].

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Material Pegas Yang Umum Digunakan^[7]

	Material	Nominal Analysis	Tensile Properties	Torsional Properties	Design Stress % Min Tensile	Modulus in Torsion G	Max. Operating Temp. °F	Max. Operating Temp. °C	Rockwell hardness ¹	Method of Manufacture Chief uses Special Properties
			Minimum Tensile Strength	Modulus of Elasticity E						
			psi x 10 ³ (MPa)	psi x 10 ⁶ (MPa x 10 ³)						
High Carbon Spring Wire	Music Wire ASTM A 228	C 0.70-1.00% Mn 0.20-0.60%	230-399 (1586-2751)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	250	121	C41-60	Cold drawn high and uniform tensile. High quality springs and wire forms. Suitable for cyclic applications.
	Hard Drawn ASTM A 227	C 0.45-0.85% Mn 0.60-1.30%	CL1 147-283 (1014-1951) CL11 171-324 (1179-2234)	30 (207)	40	11.5 (79.3)	250	121	C31-52	Cold drawn. Average stress applications. Lower cost springs and wire forms.
	High Tensile Hard Drawn ASTM A 679	C 0.65-1.00% Mn 0.20-1.30%	238-350 (1641-2413)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	250	121	C31-52	Cold Drawn. Higher Quality springs and wire forms.
	Oil Tempered ASTM A 229	C 0.35-0.85% Mn 0.40-1.20%	CL1 165-563 (1158-2020) CL11 191-524 (1317-2224)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	250	121	C42-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. General purpose spring wire.
Alloy Steel Wire	Carbon Vane ASTM A 230	C 0.60-0.75% Mn 0.60-0.90%	215-240 (1482-1655)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	250	121	C45-49	Cold drawn and heat treated before fabrication. Good surface conditioned uniform tensile. Suitable for cyclic applications.
	Chrome Vanadium ASTM A 231	C 0.48-0.53% Cr 0.80-1.10% V 0.15 min %	180-300 (1310-2069)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	425	218.5	C41-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. Used for shock loads and moderately elevated temperature.
	Chrome Silicon ASTM A 401	C 0.51-0.59% Cr 0.60-0.80% Si 1.20-1.40%	235-300 (1620-2069)	30 (207)	45	11.5 (79.3)	475	246	C48-55	Cold drawn and heat treated before fabrication. Used for shock loads and moderately elevated temperature.

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Material Pegas Yang Umum Digunakan^[7] (Lanjutan)

Stainless Steel Wire	AISI 302/304 ASTM A 313	Cr 17-18 % Ni 8-10 %	153-225 (862-2241)	28 (193)	35	10 (69.0)	550	288	C35-45	Cold drawn; general purpose corrosion and heat resistant. Magnetic in spring temper.
	AISI 316 ASTM A 313	Cr 16-18 % Ni 10-14 % Mo 2-3 %	110-245 (759-1689)	28 (193)	40	10 (69.0)	550	288	C35-45	Cold drawn. Heat resistant and better corrosion resistance than 302. Magnetic in spring temper.
	17-7 PH ASTM A 313 (B31)	Cr 18-18 % Ni 10-14 % Al 0.75-1.2 %	Good CB 233-235 (1620-2310)	29-3 (203)	45	11 (79.3)	850	349	C38-57	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. High strength and general purpose corrosion resistance. Slightly magnetic in spring temper.
	Phosphor Bronze Grade A ASTM B 159	Cu 94-96 % Sn 4-6 %	105-145 (724-1000)	15 (103)	40	6.25 (43.1)	200	99.3	B98-104	Cold drawn. Good corrosion resistance and electrical conductivity.
Non-Ferrous Alloy Wire	Beryllium Copper ASTM B 197	Cu 98 % Be 2 %	150-230 (1034-1556)	18.5 (128)	45	7.0 (48.3)	400	204	C35-42	Cold drawn and may be mill hardened before fabrication. Good corrosion resistance and electrical conductivity. High physical.
	Monel 400 AMS 7233	Ni 68 % Cu 31.5 % C/Fe	145-180 (1000-1241)	26 (179)	40	9.5 (65.5)	450	223	C23-32	Cold drawn. Good corrosion resistance at moderately elevated temperature.
	Monel K-500 QQ-N-288 ³	Ni 65.0 % Cu 29 % C/Fe/Al/Ti	160-200 (1103-1379)	26 (179)	40	9.5 (65.5)	550	28	C23-35	Excellent corrosion resistance at moderately elevated temperature.
	A 286 Alloy	Ni 26 % Cr 15 % Fe 53 %	160-200 (1103-1379)	29 (200)	35	10.4 (71.7)	950	510	C35-42	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. Good corrosion resistance at elevated temperature.
High Temperature Alloy Wire	Inconel 500 QQ-W-380 ³	Ni 76 % Cr 15.8 % Fe 7.2 %	170-230 (1172-1556)	31 (214)	40	11.0 (75.8)	700	371	C35-45	Cold drawn. Good corrosion resistance at elevated temperature.
	Inconel 718	Ni 52.5 % Cr 18.4 % Fe 18.5 %	210-250 (1448-1724)	29 (200)	40	11.2 (77.2)	1100	593	C45-50	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. Good corrosion resistance at elevated temperature.
	Inconel x 750 AMS 5698, 5699	Ni 73 % Cr 15 % Fe 6.75 %	No IT 155 Min. 1060 Spe T 190-230 (1310-1586)	31 (214)	40	12 (82.7)	750-1100	368-593	C34-39 C42-48	Cold drawn and precipitation hardened after fabrication. Good corrosion resistance at elevated temperature.

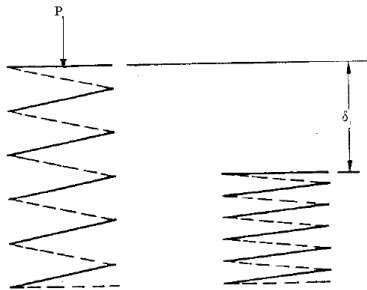
2.2.3.3 Perhitungan Kekakuan Pegas

Bila sebuah pegas dikenai beban sebesar P, maka pegas tersebut akan mengalami perubahan panjang (defleksi) sebesar δ . Dari beban dan besarnya defleksi yang terjadi maka kekakuan dari pegas tersebut dapat dihitung menggunakan rumus^[1] :

$$K = \frac{P}{\delta} \quad (2.1)$$

Dimana :

- K = Kekakuan pegas, kg/m atau kg/mm
- P = Beban yang bekerja, kg
- δ = Defleksi yang terjadi, m atau mm



Gambar 2.15 Pegas Terdefleksi Akibat Beban

2.2.4 Shaft

Shaft (poros) merupakan suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, engkol, *sprocket* dan elemen pemindah lainnya.

Pada perhitungan poros, kita menganalisa setiap gaya yang ada pada poros. Untuk memudahkan perhitungan gaya-gaya yang ada pada poros dibagi menjadi dua bagian, yaitu gaya arah horizontal dan gaya arah vertikal. Untuk setiap arah gaya yang digambarkan dengan arah ke atas bernilai positif (+), dan untuk setiap arah gaya yang digambarkan dengan arah ke bawah bernilai negatif (-). Sedangkan untuk momen yang putarannya CW (searah arah jarum jam) bernilai positif (+), dan untuk momen yang putarannya CCW (berlawanan arah jarum jam) bernilai negatif (-).

Untuk mencari diameter minimum poros yang digunakan dapat dicari dengan metode dengan Shaft Design Equations for maximum shear failure theory^[1].

$$\frac{0.5 S_{yp}}{N} \geq \frac{16}{\pi D_o^3 \left[1 - \left(\frac{D_i}{D_o} \right)^4 \right]} \sqrt{(M)^2 + (T)^2} \quad (2.2)$$

Dimana :

S_{yp} = *Yield point strength of the material intension*, psi

N = Angka keamanan

D_o = *Diameter outside* poros, in

D_i = *Diameter inside* poros, in

M = *applied bending moment*, lb-in

T = *applied torque*, lb-in

2.2.5 Free Body Diagram Dan Persamaan Kesetimbangan

Untuk mendapatkan identifikasi semua gaya dan momen pada suatu system / peralatan, maka kita perlu menggambar *free body diagram* (FBD) setiap elemen dari sistem tersebut. FBD haruslah menunjukkan bentuk umum komponen serta semua gaya dan momen yang bekerja pada elemen tersebut. Perlu diingat juga bahwa akan ada gaya dan momen luar yang bekerja, dan juga gaya atau momen yang timbul pada sambungan satu elemen dengan yang lain.

Sebagai tambahan, gaya-gaya dan momen pada FBD, baik yang diketahui maupun yang tidak diketahui nilainya, dimensi dan sudut setiap element harus didefinisikan dalam koordinat lokal. Sistem koordinat diletakkan pada pusat gravitasi elemen (CG). Untuk beban dinamik, percepatan kinematik baik linear maupun angular pada CG, perlu diketahui atau dihitung sebelum melakukan analisis beban. Hukum Newton dan persamaan Euler adalah dasar yang dapat digunakan untuk melakukan analisis beban, baik untuk 3 dimensi maupun 2 dimensi.

Benda dikatakan mencapai kesetimbangan jika benda tersebut dalam keadaan diam / statis atau dalam keadaan bergerak beraturan / dinamis. Ditinjau dari keadaannya, kesetimbangan terbagi dua, yaitu:

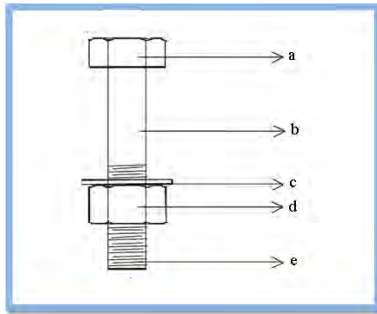
1. Kesetimbangan Translasi ($a = 0$), $v = 0$ (statis), $v = \text{konstan}$ (dinamis)

$$\sum F = 0 = \sum F_x = 0 ; \sum F_y = 0$$

2. Keseimbangan Rotasi ($\alpha = 0$), $w = 0$ (statis), $w = \text{konstan}$ (dinamis) $\sum \tau = 0$ pilih pada suatu titik dimana gaya-gaya yang bekerja terbanyak

2.2.6 Baut Dan Mur

Sistem sambungan dengan menggunakan baut dan mur ini termasuk sambungan yang dapat dibuka tanpa merusak bagian yang disambung serta alat penyambung ini sendiri. Penyambungan dengan mur dan baut ini paling banyak digunakan sampai saat ini, misalnya sambungan pada konstruksi konstruksi dan alat permesinan. Bagian dari baut dan mur ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Bagian Baut Dan Mur

Keterangan gambar :

- a = Kepala baut
- b = Batang baut
- c = Ring
- d = Mur
- e = Ulir baut

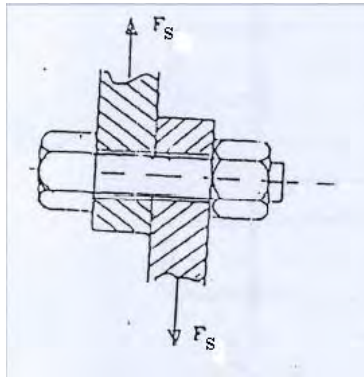
Baut dan mur merupakan alat pengikat yang sangat penting, untuk mencegah timbulnya kerusakan pada mesin. Pemilihan baut dan mur sebagai alat pengikat, harus disesuaikan dengan gaya yang mungkin akan menimbulkan baut dan mur

tersebut putus atau rusak. Dalam perencanaan baut dan mur, kemungkinan kerusakan yang mungkin timbul yaitu :

- Putus karena terkena gaya tarik
- Putus karena terkena puntir
- Putus karena terkena gaya geser
- Ulir dari baut dan mur putus tergeser

2.2.6.1 Baut dan Mur Putus Akibat Terkena Gaya Geser

Baut dan mur putus akibat terkena gaya geser dapat dilihat pada gambar 3.17 yang disebabkan gaya F_s yang berlawanan arah.



Gambar 3.17 Gaya Geser Pada Baut

Gaya geser yang terjadi menyebabkan tegangan geser sebesar :

$$\tau_s = \frac{F_s}{A} \quad (2.3)$$

Dimana $A = \frac{\pi}{4} d^2$

Sehingga besar tegangan geser menjadi :

$$\tau_s = \frac{F_s}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (2.4)$$

Berdasar teori kegagalan, tegangan yang terjadi pada baut tidak boleh melebihi tegangan ijin dari material baut tersebut. Sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{0.5 S_{yp}}{N} \geq \frac{F_s}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (2.5)$$

Sehingga untuk menghitung diameter baut menjadi :

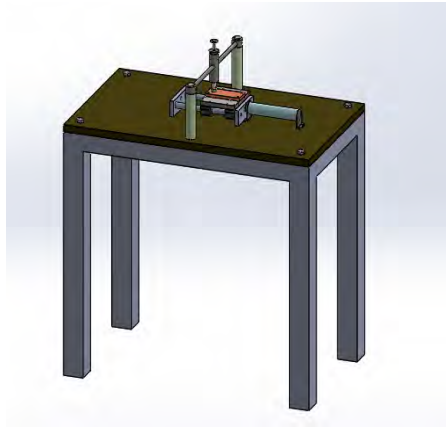
$$d \geq \sqrt{\frac{4 F_s N}{\pi 0.5 S_{yp}}} \quad (2.6)$$

BAB III METOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Perancangan

Secara garis besar metode yang akan dilakukan pada rancang bangun *tribometer* tipe *pin-on-plate* ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur tentang perancangan *tribometer pin-on-plate* dari penelitian yang sudah pernah dilakukan, dan mempelajari tentang desain dan spesifikasi alat tribometer tipe *pin-on-plate* yang ada di pasaran untuk menjadi acuan merancang alat *tribometer* yang akan dibuat.
2. Melakukan pengumpulan data-data yang diperlukan seperti dimensi atau jenis material yang umum digunakan untuk pembuatan komponen dalam alat *tribometer pin-on-plate* yang akan dibuat.
3. Menentukan spesifikasi alat *tribometer pin-on-plate* yang akan dibuat. Spesifikasi alat tribometer *pin-on-plate* yang akan didesain pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:
 - *Maximum Normal Load* = 5 kg
 - *Stroke Length (actuator)* = 8 – 15 cm
 - *Linier Speed* = up to 300 mm/s
 - Diameter Spesimen Pin = 8 – 15 mm
 - Dimensi Spesimen plat uji = 140 mm x 60 mm x 80 mm
4. Membuat dan memilih konsep rancangan *tribometer* tipe *pin-on-plate* dengan penggerak *electropneumatic* dengan beberapa bagian utama sebagai berikut:
 - a. *Load adjuster*
 - b. *Casing holder*
 - c. *Pin specimen holder*
 - d. *Metal main holder*
 - e. Komponen *electropneumatic* yang terdiri dari *relay*, *limit switch*, *actuator silinder double acting*, *solenoid*, dll.

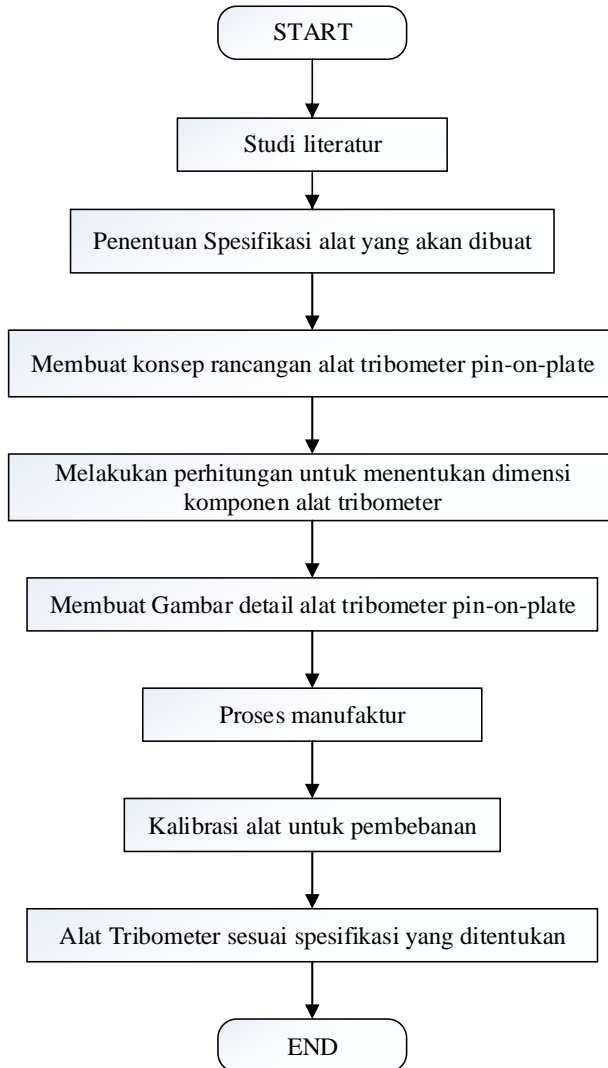


Gambar 3.1 Konsep Rancangan *Tribometer Tipe Pin - On - Plate*

5. Melakukan perhitungan dimensi dari komponen-komponen yang ada pada *tribometer* tipe *pin-on-plate* seperti *casing holder*, lengan dari *casing holder*, *metal main holder* dan perancangan untuk memilih dimensi pegas untuk pembebanan maksimal 5 kg.
6. Membuat gambar kerja setelah mendapat ukuran dari perhitungan dimensi komponen-komponen alat *tribometer pin-on-plate*.
7. Dari gambar kerja tersebut bisa dilakukan proses manufaktur. Proses manufaktur tersebut terdiri dari pembuatan satu per satu komponen alat tribometer seperti komponen *casing holder*, *metal main holder*, meja dan sebagainya. Setelah semua komponen selesai dilakukan proses *assembly*.
8. Kalibrasi pembebanan dilakukan menggunakan alat bantu yaitu menggunakan timbangan digital. Timbangan tersebut ditaruh pada meja *tribometer*, *casing holder* yang sudah dipasang pin uji ditempelkan pada timbangan digital sampai menunjukkan angka nol. Setelah itu *casing holder* dikunci posisinya. Langkah selanjutnya adalah memutar *load adjuster* yang ada pada *casing holder* sampai timbangan menunjukkan 1 kg. Saat itu juga pegas

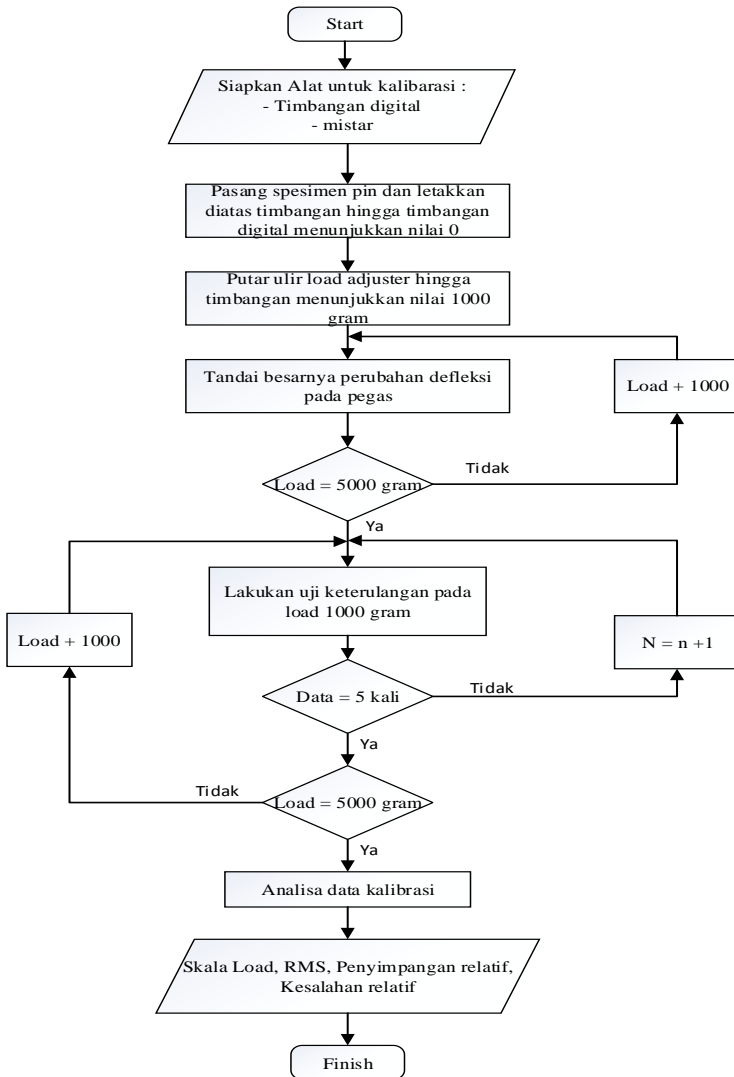
akan mengalami defleksi, besarnya defleksi tersebut akan ditandai. Ulang lagi memutar *load adjuster* untuk beban 2, 3, 4,5 kg sehingga bisa mendapat skala ukur yang didapat dari defleksi masing-masing pembebanan. Dari skala ukur yang sudah didapat dilakukan pengujian keakurasian pada tiap – tiap skala pembebanan yang dilakukan 5 kali pada setiap skala ukur.

3.2 Flowchart Perancangan



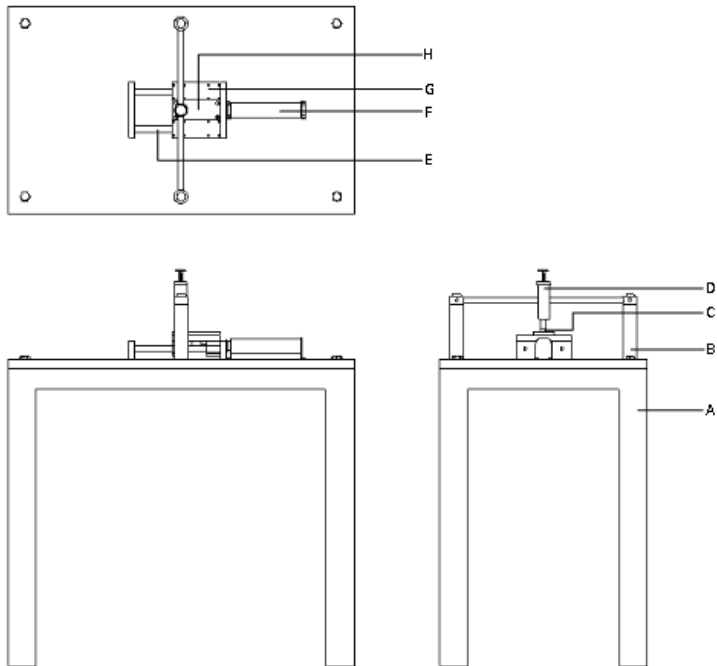
Gambar 3.2 Flowchart Perancangan

3.3 Flowchart Kalibrasi Pembebanan



Gambar 3.3 Flowchart Kalibrasi Pembebanan

3.4 Bagian Utama Dari Tribometer *Pin-On-Plate*



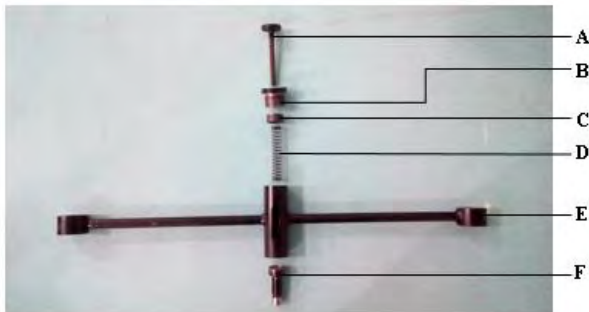
Gambar 3.4 Bagian Utama Tribometer *Pin-On-Plate*

Keterangan gambar:

- A = Meja
- B = *Metal main holder*
- C = *Spesimen pin*
- D = *Load adjuster*
- E = *Slider*
- F = *Actuator cylinder double acting*
- G = *Specimen Base*
- H = *Spesimen pelat*

3.4.1 Komponen Penyusun *Load Adjuster*

Load adjuster merupakan bagian utama dari *tribometer pin-on-plate* yang berfungsi sebagai komponen yang memberikan beban ke spesimen yang akan diuji. Komponen penyusun dari *load adjuster* ini terdiri dari ulir *load adjuster*, penutup *casing holder*, *dummy*, pegas, *casing holder* dan *pin holder*. Prinsip kerja dari *load adjuster* ini adalah dengan memberikan pembebanan pada pegas lewat ulir *load adjuster* dan beban tersebut diteruskan ke spesimen pin untuk menekan spesimen pelat. Berikut adalah komponen penyusun dari *casing holder* :



Gambar 3.5 Komponen Penyusun *Load Adjuster*

Keterangan Gambar :

- A = Ulir *load adjuster*
- B = Penutup *casing holder*
- C = *Dummy*
- D = Pegas
- E = *Casing holder*
- F = *Pin Holder*

A. *Ulir load adjuster*

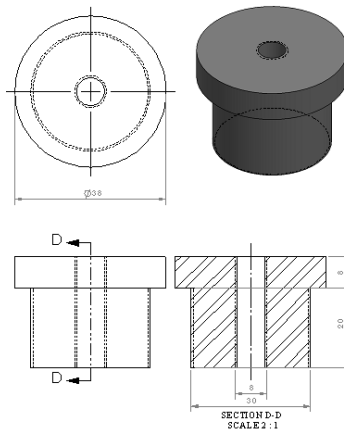
Ulir *load adjuster* ini memiliki fungsi sebagai pengatur beban yang diberikan pada spesimen pin. Rancangan untuk *load adjuster* ini bisa dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Ulir *Load Adjuster*

B. Penutup casing holder

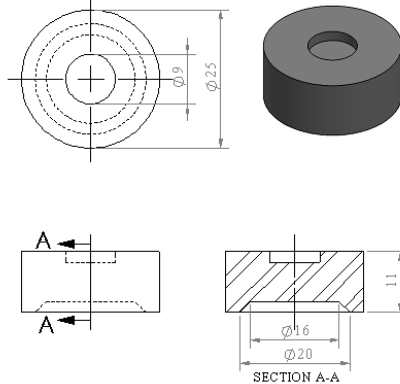
Penutup *casing holder* ini berfungsi sebagai landasan dari ulir *load adjuster*. Penutup casing ini dilengkapi dengan ulir yang digunakan untuk menyatukan dengan *casing holder*. Penutup *casing holder* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Penutup *casing holder*

C. Dummy

Dummy akan didorong oleh *load adjuster* sehingga memberikan tekanan pada pegas. Fungsi dari *dummy* sendiri adalah agar beban yang diterima pegas merata. Rancangan *dummy* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 *Dummy*

D. Pegas

Pegas digunakan untuk memberikan gaya tekan pada pin uji dengan bertambahnya putaran dari ulir *load adjuster*. Pegas yang digunakan pada perancangan tribometer ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

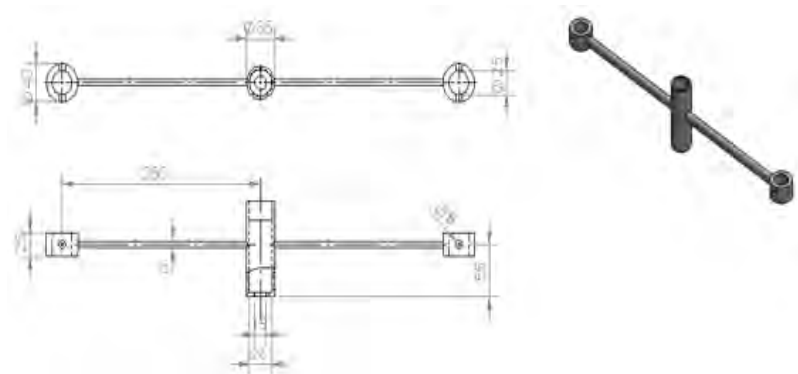
- Radius coil, $R = 8 \text{ mm}$
- Diameter wire, $d = 2 \text{ mm}$
- Jumlah lilitan total, $N_t = 8$
- Jumlah lilitan aktif, $N_a = N_t - 2$
 $N_a = 8 - 2$
 $N_a = 6$
- Tinggi Pegas $L = 47 \text{ mm}$



Gambar 3.9 Pegas

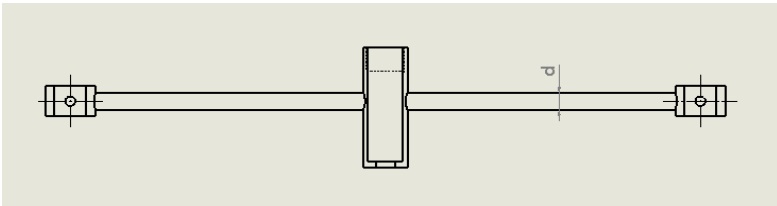
E. Casing holder

Casing holder ini merupakan komponen dari *load adjuster* yang berfungsi sebagai penahan gaya yang diberikan saat terjadi akibat dari penambahan beban oleh ulir *load adjuster* yang diteruskan spesimen pin untuk menekan spesimen pelat. Rancangan dari *casing holder* dapat dilihat pada gambar 3.10.



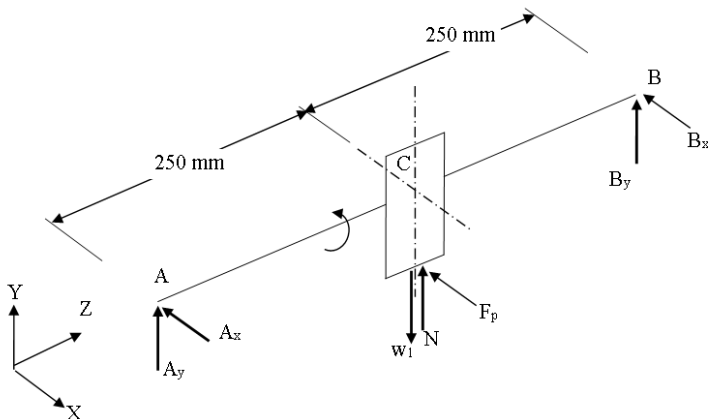
Gambar 3.10 *Casing Holder*

- Perhitungan diameter poros dari *casing holder*



Gambar 3.11 Diameter Lengan Poros *Casing Holder*

Free body diagram gaya yang bekerja pada casing holder



Gambar 3.12 *Free Body Diagram* Gaya Yang Bekerja Pada *Casing Holder*

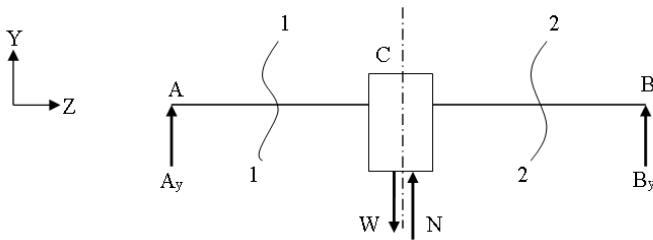
- Besar gaya *pneumatic*, $F_p = 28,44 \text{ N}$
- Besar gaya berat, W

$$\begin{aligned}
 W &= m_{\text{total}} \times g \\
 &= 287.63 \text{ gr} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 0.28763 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 2.8216 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Besar gaya normal, $N = F_{\text{load}} + W$
 $= 50 \text{ N} + 2.8216 \text{ N}$
 $= 52.8216 \text{ N}$

Mencari Besar Momen

➤ Momen pada bidang vertical (Bidang X – Y)



Gambar 3.13 *Free Body Diagram* Gaya Pada Bidang X - Y



$$\Sigma M_A = 0$$

$$(W \times 250 \text{ mm}) - (N \times 250 \text{ mm}) - (B_y \times 500 \text{ mm}) = 0$$

$$B_y = \frac{(2.8216 \text{ N} \times 250 \text{ mm}) - (52.8216 \text{ N} \times 250 \text{ mm})}{500 \text{ mm}}$$

$$B_y = -25 \text{ N}$$



$$\Sigma F_y = 0$$

$$A_y + B_y + N - W = 0$$

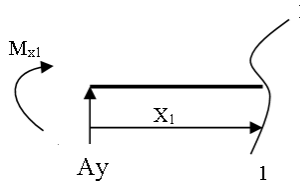
$$A_y = W - B_y - N$$

$$A_y = 2.8216 \text{ N} - (-25 \text{ N}) - (2.8216 \text{ N})$$

$$A_y = -25$$

Mencari tegangan terbesar (Bidang X – Y)

1. Potongan 1 – 1 ($0 \leq x_1 \leq 250 \text{ mm}$)



Gambar 3.14 Potongan 1-1 Bidang X - Y

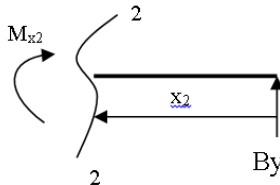
$$M_{x1} = A_y \cdot x_1$$

$$= -25 \cdot x_1$$

$$x_1 = 0 \text{ mm} \longrightarrow M_{A_v} = 0 \text{ Nmm}$$

$$x_1 = 250 \text{ mm} \longrightarrow M_{C_v} = -6250 \text{ Nmm}$$

2. Potongan 2 – 2 ($0 \leq x_2 \leq 250 \text{ mm}$)



Gambar 3.15 Potongan 2-2 Bidang X - Y

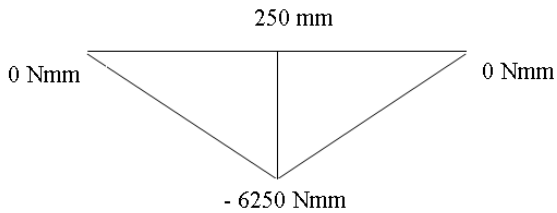
$$M_{x2} = B_y \cdot x_2$$

$$= -25 \cdot x_2$$

$$x_1 = 0 \text{ mm} \longrightarrow M_{B_v} = 0 \text{ Nmm}$$

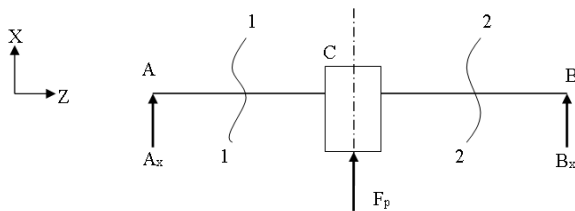
$$x_1 = 250 \text{ mm} \longrightarrow M_{C_v} = -6250 \text{ Nmm}$$

Diagram bidang momen poros (bidang vertikal):



Gambar 3.16 Diagram Bidang Momen Poros Bidang Vertikal

➤ **Momen pada bidang horizontal (Bidang X – Z)**



Gambar 3.17 Free Body Diagram Gaya Pada Bidang X – Z



$$\Sigma M_A = 0$$

$$[(-F_p) \times 250 \text{ mm}] - (B_x \times 500 \text{ mm}) = 0$$

$$B_x = \frac{(-F_p) \times 250 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}$$

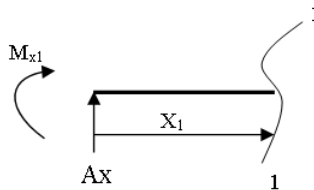
$$B_x = \frac{(-28.44) \times 250 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}$$

$$B_x = -14.22 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 + \uparrow \quad \Sigma F_y &= 0 \\
 A_x + B_x + F_p &= 0 \\
 A_x &= -F_p - B_x \\
 A_x &= -28.44 - (-14.22 \text{ N}) \\
 A_x &= -14.22 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Mencari tegangan terbesar (Bidang X – Z)

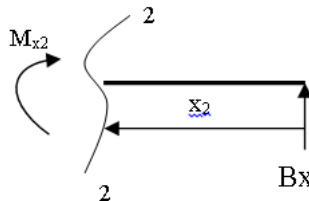
1. Potongan 1 – 1 ($0 \leq x_1 \leq 250 \text{ mm}$)



Gambar 3.18 Potongan 1-1 Bidang X – Z

$$\begin{aligned}
 M_{x1} &= A_x \cdot x_1 \\
 &= -14.22 \cdot x_1 \\
 x_1 &= 0 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad M_{Av} = 0 \text{ Nmm} \\
 x_1 &= 250 \text{ mm} \quad \longrightarrow \quad M_{Cv} = -3555 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

2. Potongan 2 – 2 ($0 \leq x_2 \leq 250 \text{ mm}$)



Gambar 3.19 Potongan 2-2 Bidang X – Z

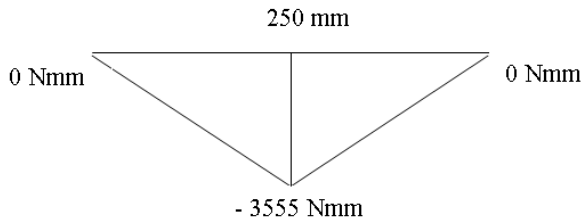
$$M_{x_2} = B_x \cdot x_2$$

$$= -14.22 \cdot x_2$$

$$x_1 = 0 \text{ mm} \longrightarrow MB_v = 0 \text{ Nmm}$$

$$x_1 = 250 \text{ mm} \longrightarrow MC_v = -3555 \text{ Nmm}$$

Diagram bidang momen poros (bidang horizontal):



Gambar 3.20 Diagram Bidang Momen Poros Bidang Horizontal

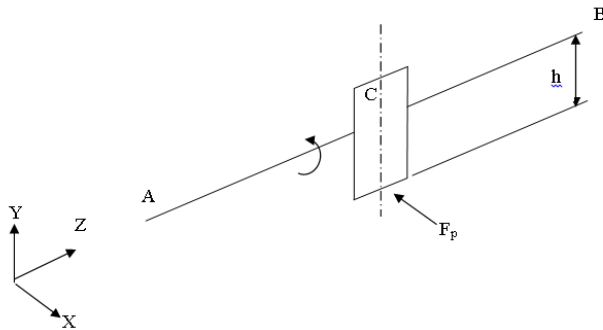
Momen bending terbesar terjadi di titik C, dan besarnya adalah :

$$M_c = \sqrt{M_{c_v}^2 + M_{c_h}^2}$$

$$M_c = \sqrt{(6250 \text{ Nmm})^2 + (3555 \text{ Nmm})^2}$$

$$M_c = 7190.3077 \text{ Nmm}$$

Mencari Besar Torsi



Gambar 3.21 Gaya Yang Menyebabkan Torsi Pada *Casing Holder*

Dimana

$$F_p = 28.44 \text{ N}$$

$$h = 55 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka nilai } T &= F_p \times h \\ &= 28.44 \text{ N} \times 55 \text{ mm} \\ &= 1564.2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasarkan teori kegagalan, diameter poros dapat dicari menggunakan rumus 2.2 yaitu :

$$\frac{0.5 S_{yp}}{N} \geq \frac{16}{\pi D_o^3 \left[1 - \left(1 - \frac{D_i}{D_o} \right)^4 \right]} \sqrt{(M)^2 + (T)^2}$$

Dimana :

- Material AISI 1045 *steel cold draw*^[1]
 $S_{yp} = 90 \text{ ksi}$
 $= 90000 \text{ psi}$
 $= 620.52813 \text{ N/mm}^2$
- Angka keamanan , $N = 2$
- Karena poros pejal maka $D_i = 0$

Sehingga diameter poros menjadi :

$$\frac{0.5 S_{yp}}{N} \geq \frac{16}{\pi D_o^3 \left[1 - \left(1 - \frac{D_i}{D_o} \right)^4 \right]} \sqrt{(M)^2 + (T)^2}$$

$$D_o \geq \sqrt[3]{\frac{16 N}{0.5 \pi S_{yp}} \sqrt{(M)^2 + (T)^2}}$$

$$D_o \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 2}{0.5 \pi 620.52813 \text{ N/mm}^2} \sqrt{(7190.3077 \text{ Nmm})^2 + (1564.2 \text{ Nmm})^2}}$$

$$D_o \geq \sqrt[3]{\frac{32}{974.2292 \text{ N/mm}^2} 7358.4813 \text{ Nmm}}$$

$$D_o \geq 6.2291 \text{ mm}$$

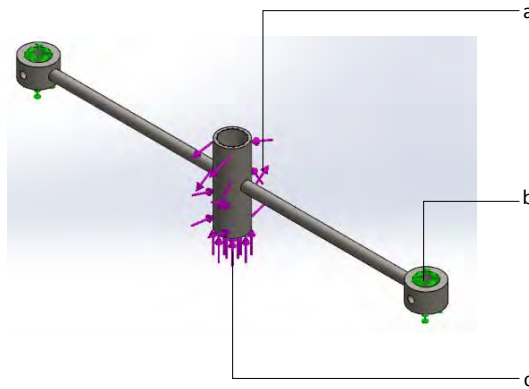
$$D_o \geq 7 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan diameter poros lengan *casing holder* sebesar 7 mm, tetapi di pasaran hanya tersedia poros dengan diameter 12 mm. Oleh karena itu pemilihan poros untuk lengan *casing holder* dipilih poros dengan diameter 12 mm.

- Simulasi gaya yang bekerja pada lengan *casing holder*

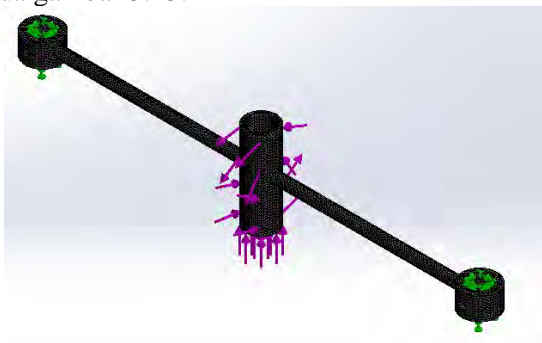
Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui keamanan dari hasil perhitungan dan pemilihan diameter poros yang telah dilakukan sebelumnya. Simulasi diawali dengan penentuan material yang digunakan. Material yang dipilih adalah AISI 1045.

Selanjutnya adalah penempatan gaya yang bekerja pada *casing holder* sebesar 50 N, dan torsi sebesar 1546.2 Nmm. Setelah menempatkan gaya –gaya yang bekerja selanjutnya adalah menentukan tumpuan pada kedua ujung *casing holder*. Penempatan gaya dan tumpuan dapat dilihat pada gambar 3.22.



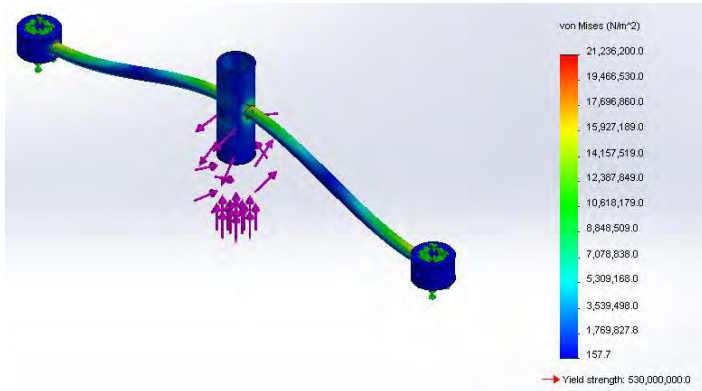
Gambar 3.22 Letak Torsi (a), Letak Tumpuan (b), Letak Gaya Normal (c)

Setelah gaya normal, torsi dan tumpuan diberikan dilakukan proses *meshing* pada *casing holder* tersebut. Proses *meshing* ini bertujuan agar hasil dari distribusi tegangan yang terjadi tiap satuan luas tertentu bisa diketahui. Hasil *meshing* bisa dilihat pada gambar 3.23.

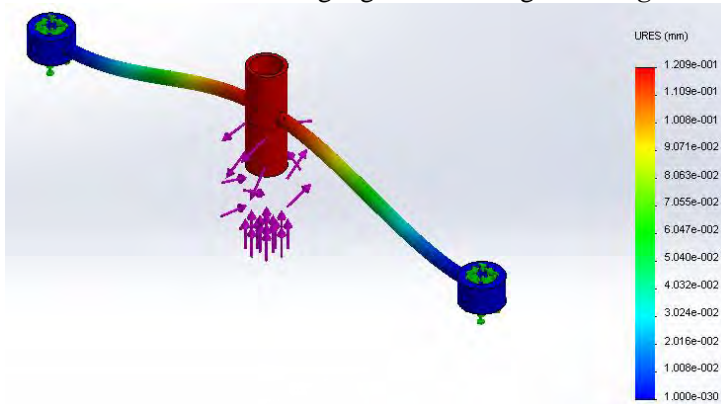


Gambar 3.23 Hasil Meshing *Casing Holder*

Setelah proses penempatan gaya, tumpuan, dan meshing selesai maka selanjutnya program mulai bekerja. Hasil yang bisa didapat pada proses ini adalah distribusi tegangan dan *displacement* akibat gaya normal dan torsi yang bekerja pada *casing holder*.



Gambar 3.24 Distribusi Tegangan Pada Lengan *Casing Holder*



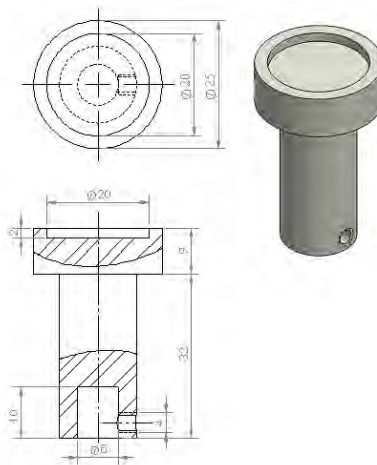
Gambar 3.25 *Displacement* pada lengan *casing holder*

Gambar 3.24 merupakan hasil simulasi distribusi tegangan yang terjadi pada casing holder akibat gaya normal dan torsi. Dari hasil tersebut besar tegangan yang terbesar terjadi pada sambungan las bagian tengah yaitu sebesar $21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, namun besarnya tegangan yang terjadi tidak melebihi yield strength dari material casing holder tersebut yaitu $53 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Sehingga diameter dari hasil perhitungan yang telah dilakukan aman.

Gambar 3.25 adalah hasil lain dari simulasi yaitu *displacement* (defleksi) yang terjadi akibat adanya gaya normal dan torsi. Dari hasil simulasi tersebut dapat diketahui bahwa daerah yang mengalami perpindahan terbesar ada pada bagian *cell* yang berwarna merah. Besar perpindahan yang terjadi adalah sebesar 0.1209 mm.

F. *Pin Holder*

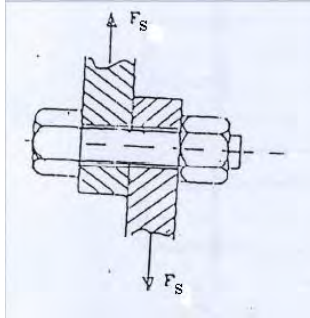
Pin holder berfungsi sebagai tempat untuk menempatkan spesimen pin yang diikat dengan baut pengikat sehingga pin tidak berotasi atau mengalami slip saat pengujian. *Pin holder* dapat dilihat pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 *Pin Holder*

3.5 Perhitungan Diameter Baut

Baut digunakan sebagai penyangga silinder. Gerakan *reciprocating* dari silinder menyebabkan baut menerima gaya geser, *free body diagram* dari gaya yang bekerja tersebut dapat dilihat pada gambar 3.27.



Gambar 3.27 Gaya Geser Pada Baut

Diameter baut dicari menggunakan rumus 2.6, yaitu :

$$d \geq \sqrt{\frac{4 F_s N}{\pi \cdot 0,5 S_{yp}}}$$

Dimana:

- F_s dari silinder = 28,44 N
- Material AISI 1045 *steel cold draw*^[1]

$$\begin{aligned} S_{yp} &= 90 \text{ ksi} \\ &= 90000 \text{ psi} \\ &= 620.52813 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Angka keamanan , $N = 3$

Sehingga :

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \times 28.44 \text{ N} \times 2}{\pi \times 0.5 \times 620.52813 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d \geq 0.59186 \text{ mm}$$

$$d \geq 0.6 \text{ mm}$$

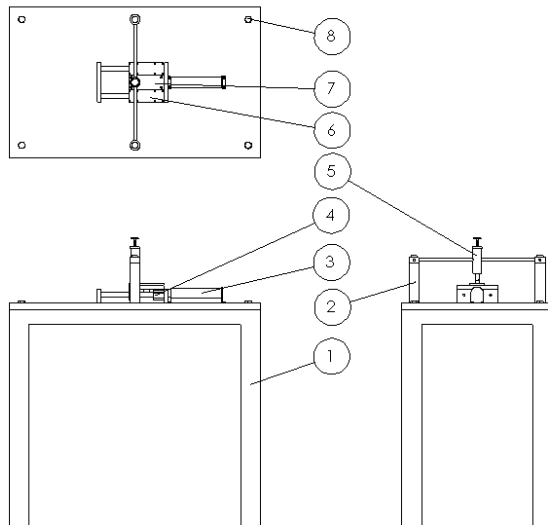
Dari perhitungan diameter baut didapatkan diameter minimal baut adalah 0.6 mm. Namun saat pemilihan silinder pneumatik sudah ada spesifikasi untuk baut yang menahan silinder yaitu untuk baut diameter 8 mm. Sehingga pemilihan baut mengikuti spesifikasi tersebut, yaitu baut berdiameter 8 mm.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancang Bangun Tribometer Tipe *Pin-On-Plate*

Bagian utama dari rancang bangun *tribometer* tipe *pin-on-plate* ini adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Bagian *Tribometer* Tipe *Pin-On-Plate*

Keterangan gambar :

- 1 = Meja
- 2 = *Metal main holder*
- 3 = *Double Acting Cylinder*
- 4 = *Slider*
- 5 = *Load adjuster*
- 6 = *Spesimen base*
- 7 = *Spesimen pelat*
- 8 = Baut

4.2 Kalibrasi Beban Pada *Load Adjuster*

Proses kalibrasi dilakukan untuk mengetahui defleksi pada pegas di bagian *casing holder* akibat tekanan yang diberikan oleh ulir *load adjuster*. Kalibrasi beban diukur dari posisi bebas pegas sebelum terdefleksi. Dalam proses ini digunakan alat bantu timbangan digital untuk mengukur beban yang diberikan ulir *adjuster*.



Gambar 4.2 Timbangan Digital

Timbangan digital yang digunakan tipe SF- 400 yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas : 5 kg
- Ukuran : 25 x 17 x 4 cm
- Ketelitian : 1 gram
- Satuan : Gram dan Ons

Proses kalibrasi ini dilakukan dengan menaruh timbangan digital tersebut pada meja tribometer, dan *casing holder* yang dipasang pin uji ditempelkan pada timbangan digital sampai menunjukkan angka nol. Langkah selanjutnya adalah memutar *load adjuster* yang ada pada *casing holder* sampai timbangan menunjukkan 1 kg. Saat itu juga pegas akan mengalami defleksi, besarnya defleksi tersebut akan ditandai.



Gambar 4.3 Penandaan skala terukur

Ulang proses tersebut untuk beban 2, 3, 4,5 kg sehingga bisa mendapat skala ukur yang didapat dari defleksi masing-masing pembebanan

Tabel 4.1 Kalibrasi Beban

Load adjuster (kg)	Defleksi/Skala terukur (mm)
1	9
2	17
3	23
4	29
5	36

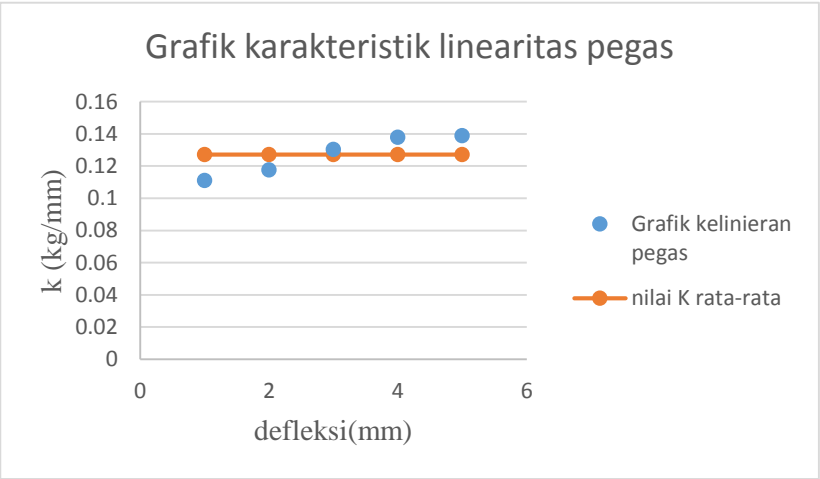
Dari tabel 4.1 dapat dicari nilai kekakuan dari pegas pada tiap pembebanan menggunakan rumus 2.1 yaitu :

$$K = \frac{P}{\delta}$$

Tabel 4.2 Perubahan Nilai Kekakuan Akibat Perubahan Beban

Load Adjuster (kg)	Skala terukur (mm)	k (kg/mm)
1	9	0.11111
2	17	0.11764
3	23	0.13043
4	29	0.13793
5	36	0.13889

Karakteristik linearitas pegas dapat ditunjukkan grafik berikut :



Gambar 4.4 Grafik Karakteristik Linearitas Pegas

Tabel 4.2 menunjukkan perbedaan nilai kekakuan pada pegas setiap terjadi perubahan beban. Dari tabel di atas dapat dijelaskan bahwa nilai kekakuan pegas dipengaruhi perubahan beban. Semakin besar beban maka semakin besar nilai k dari pegas tersebut.

Dari data yang diambil menghasilkan nilai kekakuan yang berbeda pada tiap data. Untuk mendapat nilai kekakuan pegas yang digunakan, diambil nilai rata-rata dari nilai-nilai tersebut.

$$K_{\text{mean}} = \frac{\sum K_i}{n}$$

$$K_{\text{mean}} = \frac{(0.11111 + 0.11764 + 0.13043 + 0.13793 + 0.13889) \text{ kg/mm}}{5}$$

$$K_{\text{mean}} = 0.1272 \text{ kg/mm}$$

- **Contoh perhitungan kekakuan pegas**

Pada beban 1 kg, defleksi 9 mm.

$$k = \frac{P}{\delta}$$

$$k = \frac{1 \text{ kg}}{9 \text{ mm}}$$

$$k = 0.11111 \text{ kg/mm}$$

4.2.1 Pengujian Mekanisme *Load Cell*

Setelah mendapatkan hasil kalibrasi beban setiap satu kilogram maka dilakukan pengujian keakurasian dari hasil kalibrasi tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara melakukan 5 kali pengambilan data pada tiap-tiap sakala ukur untuk setiap pembebanan. Berikut ini adalah hasil uji keakurasian hasil kalibrasi yang ditunjukkan table 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Keakurasian

skala terukur (mm)	No	Beban terbaca (gram)	RMS (gram)	Penyimpangan relatif (gram)	Kesalahan Relatif (%)
9	1	1004	1005.02	± 100.32	$\pm 0.50 \%$
	2	998			
	3	1013			
	4	1010			
	5	1000			
17	1	2013	2004.022	± 126.902	$\pm 0.20 \%$
	2	2009			
	3	1986			
	4	2005			
	5	2007			
23	1	3014	3001.61	± 98.3	$\pm 0.05 \%$
	2	2998			
	3	2993			
	4	3007			
	5	2996			
29	1	3998	4003.208	± 160.234	$\pm 0.08 \%$
	2	4002			
	3	4008			
	4	4004			
	5	4007			
36	1	4995	4996.00	± 189.694	$\pm 0.08 \%$
	2	4999			
	3	4997			
	4	4995			
	5	4994			

Dari data yang diperoleh, RMS (*Root Mean Square*), penyimpangan relatif relative, dan kesalahan relatif dari masing – masing beban dapat dihitung. Berikut ini adalah langkah untuk menghitung RMS dan kesalahan relatif .

- **Contoh perhitungan RMS**

Pada skala 9 mm

$$\begin{aligned} \text{RMS} &= \sqrt{\frac{\sum (x_i)^2}{n}} \\ \text{RMS} &= \sqrt{\frac{(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2)}{n}} \\ \text{RMS} &= \sqrt{\frac{(1006^2 + 996^2 + 1013^2 + 1010^2 + 1000^2)}{5}} \\ \text{RMS} &= 1005.02 \end{aligned}$$

- **Contoh Perhitungan Penyimpangan Relatif**

Pada Skala 9 mm

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_t)^2}{n}} \\ \varepsilon &= \pm \sqrt{\frac{(x_1 - x_t)^2 + (x_2 - x_t)^2 + (x_3 - x_t)^2 + (x_4 - x_t)^2 + (x_5 - x_t)^2}{n}} \\ \varepsilon &= \pm \sqrt{\frac{(1006 - 1000)^2 + (996 - 1000)^2 + \dots + (1000 - 1000)^2}{5}} \\ \varepsilon &= \pm 224.32 \end{aligned}$$

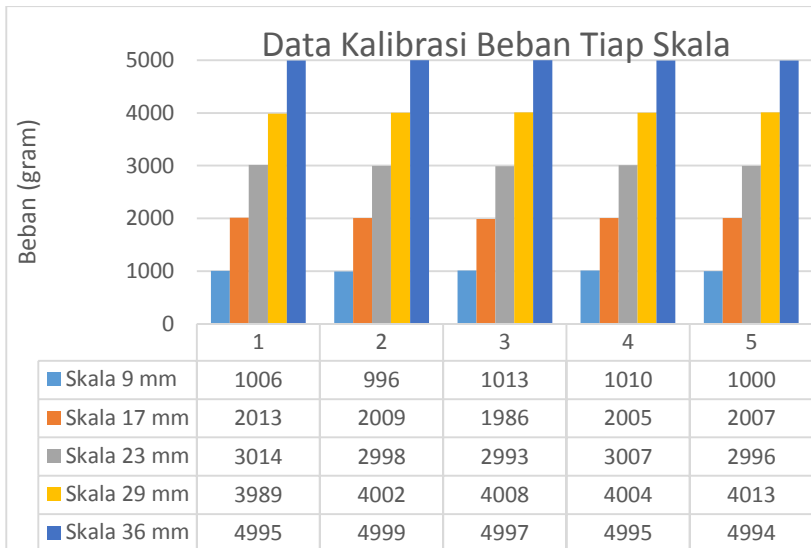
- **Contoh Perhitungan Kesalahan Relatif**

Pada Skala 9 mm

$$KTP = \pm \frac{|RMS - x_t|}{RMS} \times 100 \%$$

$$KTP = \pm \frac{|1005.02 - 1000|}{1005.02} \times 100 \%$$

$$KTP = \pm 0.5 \%$$



Gambar 4.5 Grafik Data Kalibrasi Beban Tiap Skala Terukur

Pada gambar 4.5 grafik data kalibrasi tiap skala terukur menceritakan hasil pengujian keterulangan dari hasil kalibrasi yang dilakukan. Keterulangan hasil kalibrasi diwakili oleh 5 data dari masing – masing pembebanan di tiap skala. Pada grafik batang biru muda menunjukkan data yang diambil pada beban 1 kg pada skala 9 mm, terlihat data yang diperoleh relatif sama tiap pengambilan data. Idealnya

pengujian keterulangan harusnya menunjukkan angka yang sama tiap datanya yaitu pada 1000 gram, namun pada kenyataan data yang diperoleh tidak demikian. Hal ini kemungkinan terjadi akibat adanya variasi beban yang tidak sama yang diterima pegas dalam *casing holder* yang bisa saja menyebabkan pegas menjadi melengkung.

Namun apabila melihat nilai RMS dari kelima data yang diambil pada beban 1000 gram yang menunjukkan angka 1005.02 gram, yang artinya selisih dari pembebanan yang diinginkan yaitu 1000 gram relatif kecil. Dan jika melihat nilai dari penyimpangan relatif yang nilainya ± 100.32 gram, dan kesalahan relatifnya hanya 0.50%. dari hal ini maka nilai tersebut tidak menyimpang jauh dari pembebanan yang diinginkan.

Hal serupa juga terjadi pada batang yang lainnya, merupakan data pembebanan 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg pada skala 17 mm, 23 mm, 29 mm, dan 36 mm. Melihat grafik yang dihasilkan tiap – tiap pembebanan tersebut sama – sama memiliki data yang bervariasi. Namun apabila melihat RMS dan penyimpangan relatif dari tiap – tiap pembebanan tersebut, menunjukkan angka - angka yang tidak jauh menyimpang dari pembebanan yang diinginkan.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dari proses rancang bangun dan kalibrasi alat uji tribometer tipe *pin - on - plate* ini adalah :

1. Alat tribometer tipe *pin-on-disc* yang dibuat mempunyai spesifikasi sebagai berikut :
 - *Maximum normal load* = 5 kg
 - *Stroke length (actuator)* = 140 mm
 - *Linier speed* = up to 300 mm/s
 - Diameter spesimen *pin* = 8 – 15 mm
 - Dimensi spesimen pelat = 140 x 60 x 80 mm
2. Dari hasil perhitungan diameter lengan dari *casing holder* untuk beban maksimum 5 kg didapat bahwa diameter yang digunakan pada tribometer pin- on – plate adalah sebesar 12 mm.
3. Dari hasil analisa dengan 5 variasi pembebanan, besar nilai kekakuan pegas semakin besar seiring bertambahnya beban. Nilai kekakuan pegas rata – rata yang adalah 0.1272 kg/mm.
4. Dari hasil uji keakurasian *load adjuster* yang dilakukan pada setiap pembebanan dan dilakukan 5 kali pengambilan data menghasilkan nilai RMS, penyimpangan rata - rata dan kesalahan relatif yang kecil. Besarnya nilai RMS, penyimpangan rata- rata , dan kesalahan relatif adalah sebagai berikut :
 - Pada beban 1 kg
 - RMS : 1005.2 gram
 - Penyimpangan rata- rata : ± 100.32 gram
 - Kesalahan relatif : 0.50 %
 - Pada beban 2 kg
 - RMS : 2004.022 gram
 - Penyimpangan rata- rata : ± 126.902 gram
 - Kesalahan relatif : 0.20 %

- Pada beban 3 kg
 - RMS : 3001.61 gram
 - Penyimpangan rata- rata : ± 98.3 gram
 - Kesalahan relatif : 0.05 %
- Pada beban 4 kg
 - RMS : 4003.208 gram
 - Penyimpangan rata- rata : ± 160.234 gram
 - Kesalahan relatif : 0.08 %
- Pada beban 5 kg
 - RMS : 4996 gram
 - Penyimpangan rata- rata : ± 189.694 gram
 - Kesalahan relatif : 0.08 %

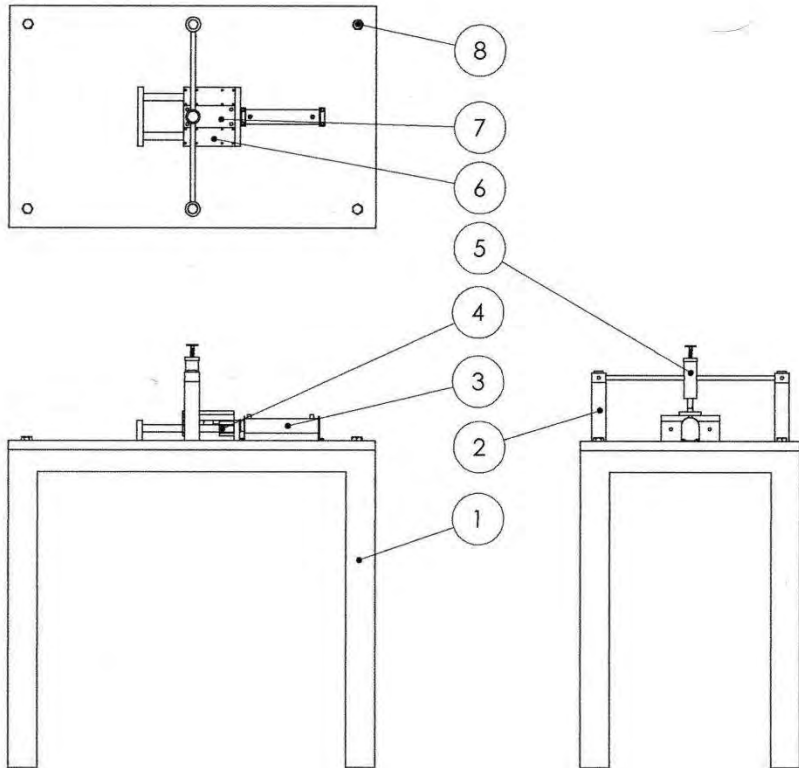
5.2 Saran

Berkenaan dengan upaya perbaikan rancang bangun tribometer, beberapa saran yang dapat diberikan adalah ;

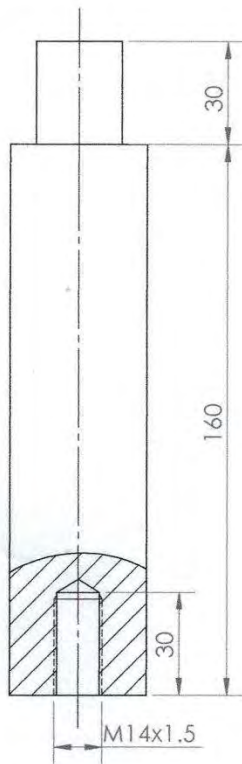
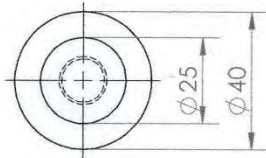
1. Untuk pembuatan skala terukur dari pembebanan *load adjuster* diperbaiki lagi sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam pembacaan.
2. Penambahan *adjuster* pada kaki meja agar kerataan meja dapat diatur. Dengan meja yang rata maka akan menghasilkan kondisi pengukuran yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deutschman, Aron D. 1975. *"Machine Design theory and practice "*, Library of Congres Cataloging in Publication Data, New York.
- [2] Ghoffar, Abdul. 2013. *"Rancang bangun tribometer tipe pin-on-plate dan studi eksperimental karakteristik tribology polimer to polimer"*.
- [3] N. Marjanovic, B. Tadic, B. Ivkovic, S. Mitrovic. 2007. *"Design of modern concept tribometer with circular and reciprocating movement"*, Journal at www.sciencedirect.com.
- [4] Arnell R.D., Davies P.B., Halling J. 1991. *Tribology Principles And Design Application*, London, Journal at www.sciencedirect.com.
- [5] Taufiq Rochim & Sri Hardjoko Wirjomartono. *Spesifikasi Geometris Metrologi Industri & Kontrol Kualitas*. ITB. Bandung
- [6] Shigley, Joseph E. and Mischke, Charles R. 2001. *Mechanical Engineering Design*, Sixth Edition. Published by McGraw-Hill. New York
- [7] Properties of common spring from ace wire spring and form company, inc.



8	6	Baut			
7	1	Specimen Pelat			
6	1	Specimen base			
5	1	Load adjuster			
4	4	Slider			
3	1	Double acting cylinder			
2	2	Metal main holder			
1	1	Meja			
No Bag	Jum lah	Nama Bagian	Bahan	Standardisasi	Peringatan
Kekasaran permukaan mm		Toleransi ukuran dalam mm			
		Skala : 1:1	Digambar : Kun Mukhammad Wafda		Peringatan
		Satuan panjang : mm	NRP : 2111106016		
		Tanggal : 23 Juni 2015	Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E		
TEKNIK MESIN		Tribometer Pin - on - Plate			Nomor : A4



Skala : 1:2

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

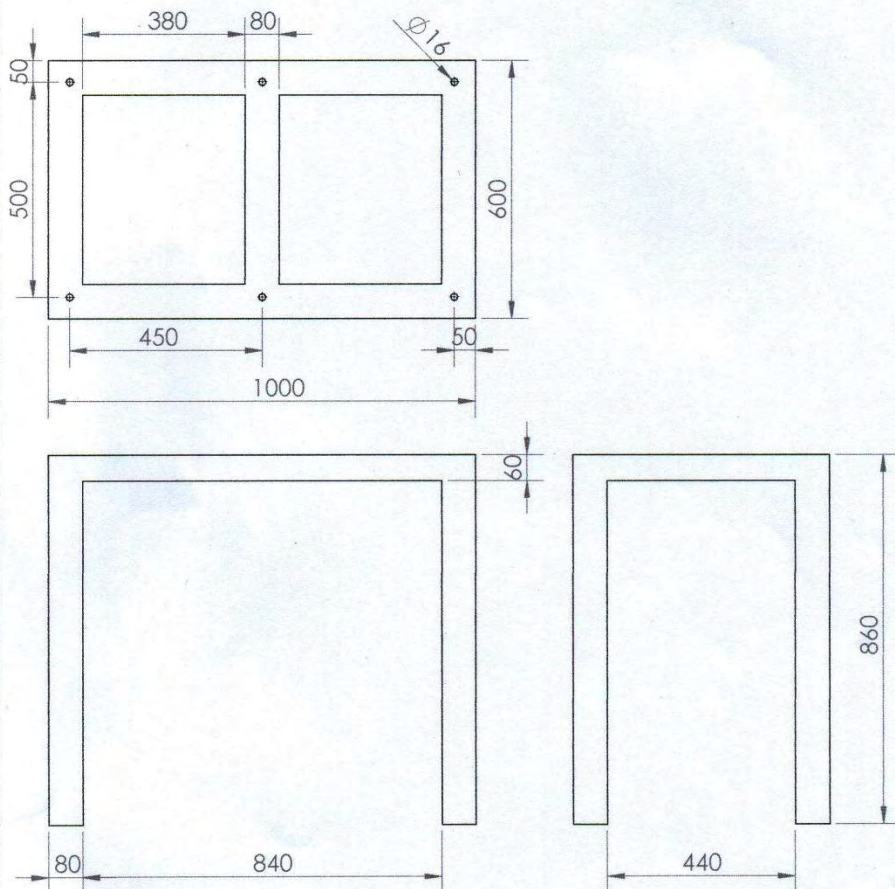
Peringatan

ITS

Metal Main Holder

Nomor :

A4



Skala : 1:12

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

Peringatan

Satuan panjang : mm

NRP : 2111106016

Tanggal : 23 Juni 2015

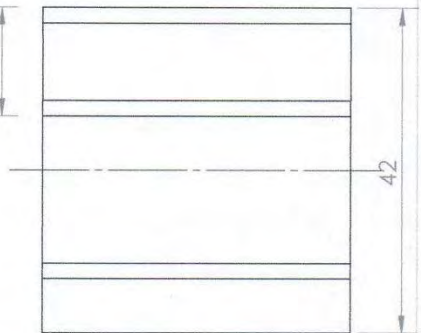
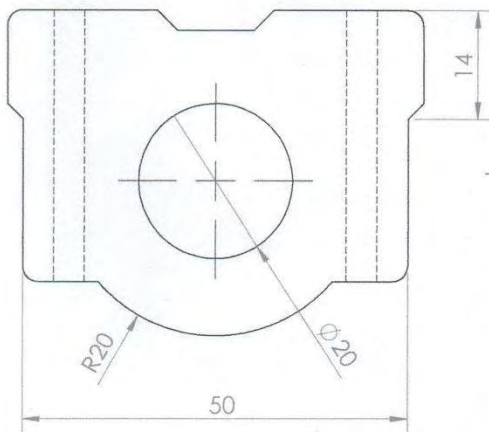
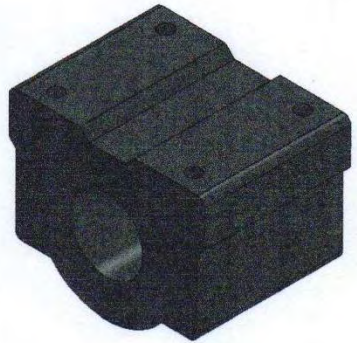
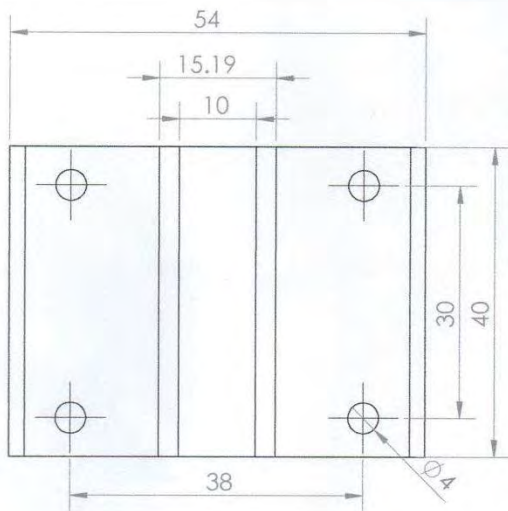
Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

ITS

Meja

Nomor :

A4



Skala : 1:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

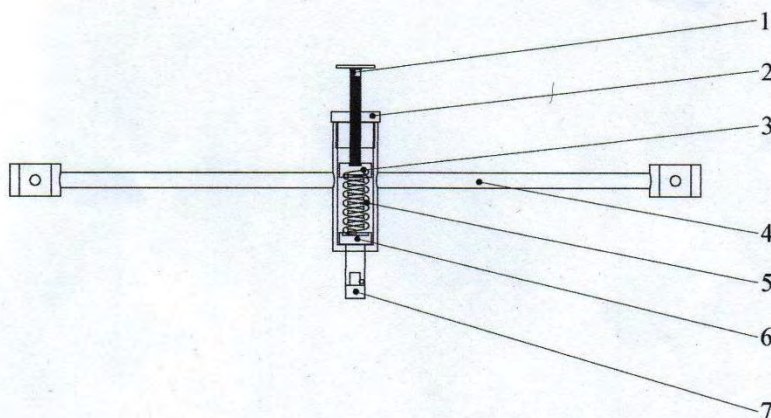
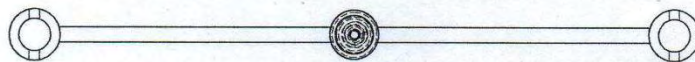
Peringatan


ITS

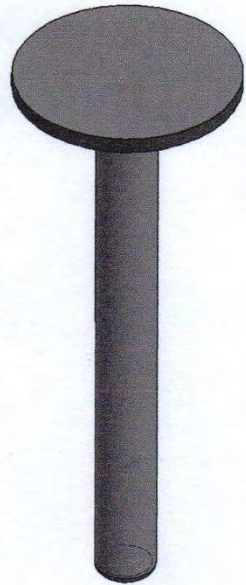
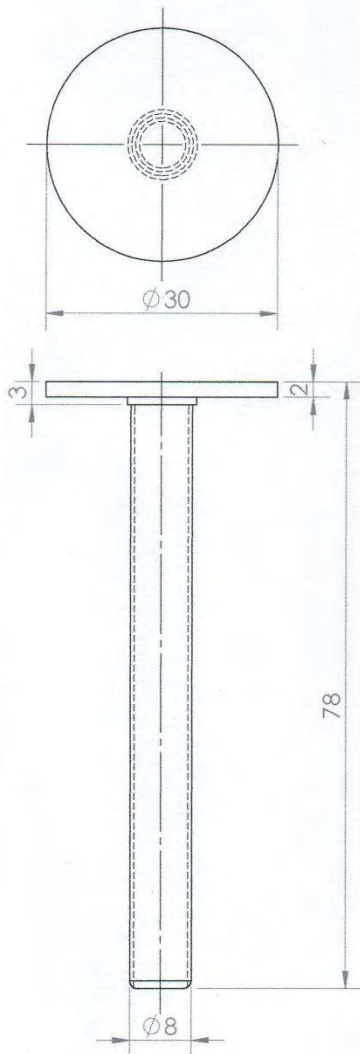
Slider

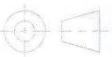
Nomor :

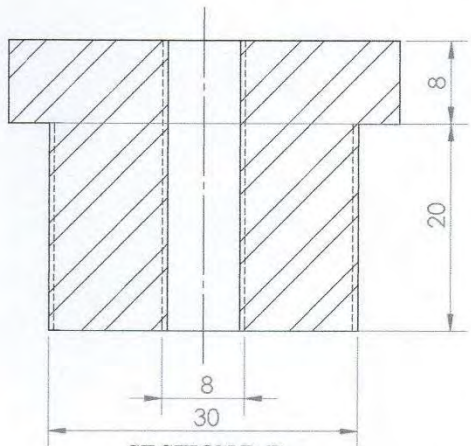
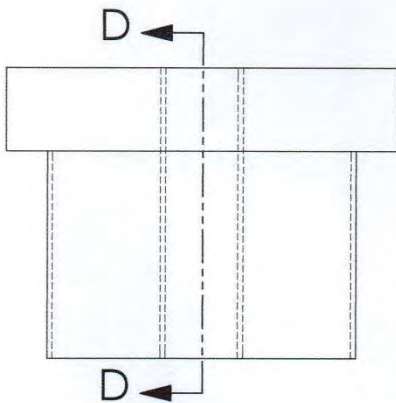
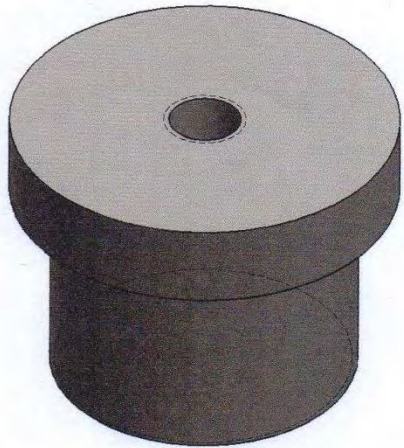
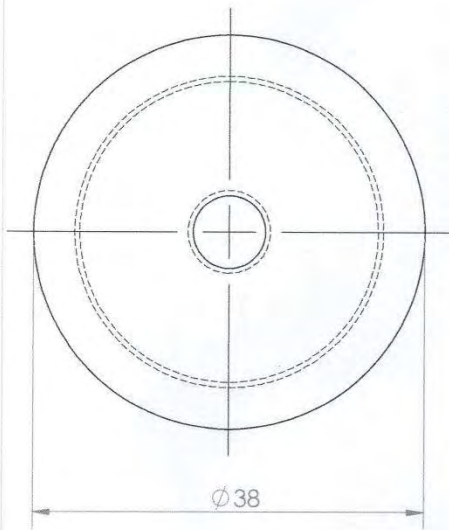
A4



7		Pin			
6		Pencengkeram pin			
5		Casing Holder			
4		Pegas			
3		Dummy			
2		Penutup casing holder			
1		Ulir load adjuster			
No Bag	Jumlah	Nama Bagian	Bahan	Standardisasi	Peringatan
Kekasaran permukaan mm		Toleransi ukuran dalam mm			
		Skala : 1:4	Digambar : Kun Mukhammad Wafda		Peringatan
		Satuan panjang : mm	NRP : 2111106016		
		Tanggal : 23 Juni 2015	Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E		
TEKNIK MESIN		Load Adjuster			Nomor : A4



	Skala : 3:2	Digambar : Kun Mukhammad Wafda	Peringatan
	Satuan panjang : mm	NRP : 2111106016	
	Tanggal : 23 Juni 2015	Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E	
ITS	Ulir load adjuster		Nomor : A4



SECTION D-D
SCALE 2 : 1



Skala : 2:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

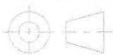
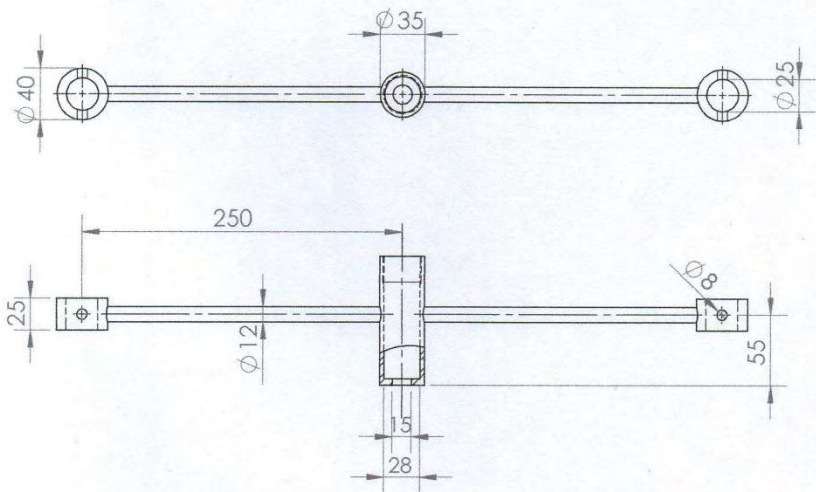
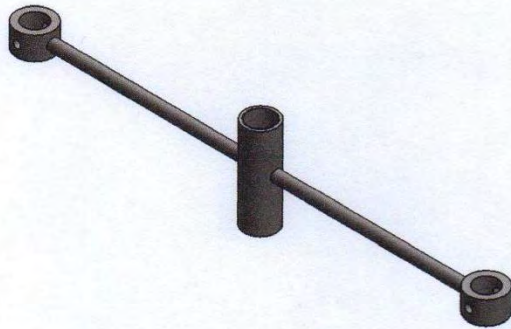
Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

Peringatan

ITS

Nomor :

A4



Skala : 1:1

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

Peringatan

Satuan panjang : mm

NRP : 2111106016

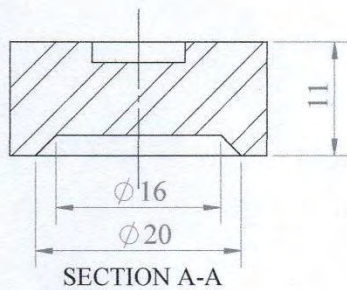
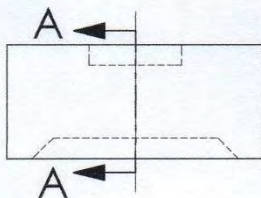
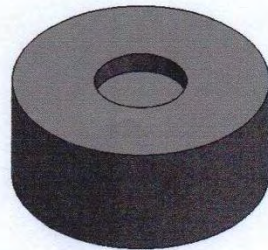
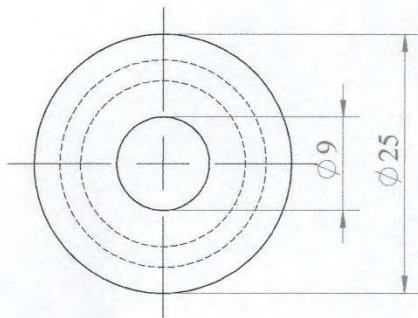
Tanggal : 23 Juni 2015 Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

ITS

Casing Holder

Nomor :

A4



Skala : 2:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

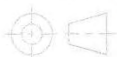
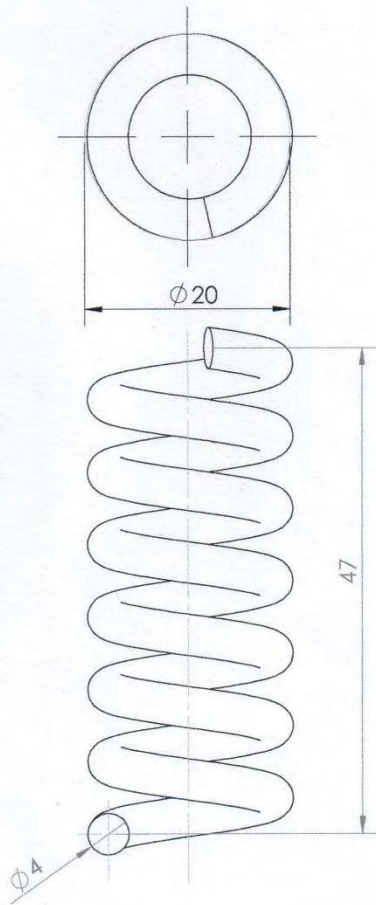
Peringatan

ITS

Dummy

Nomor :

A4



Skala : 2:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

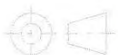
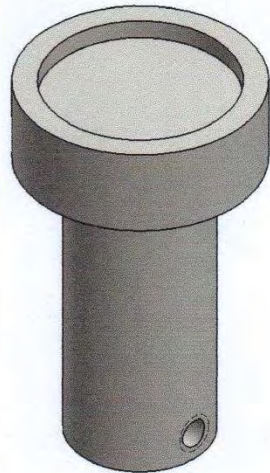
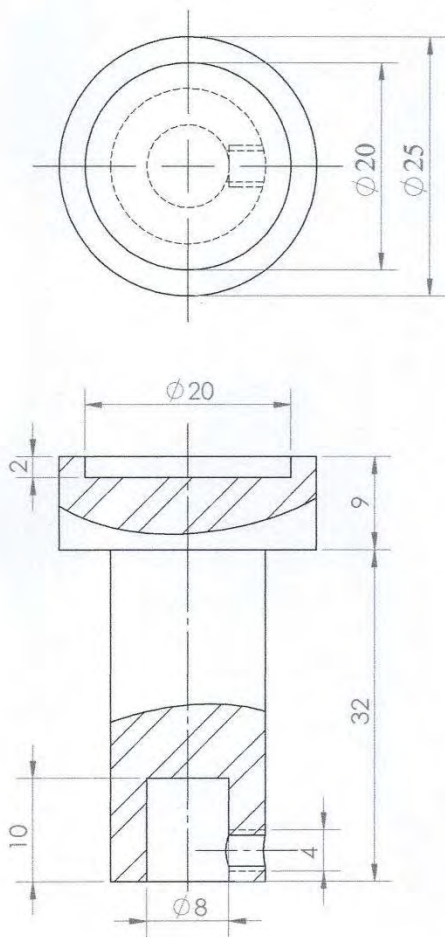
Peringatan

ITS

Pegas

Nomor :

A4



Skala : 2:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

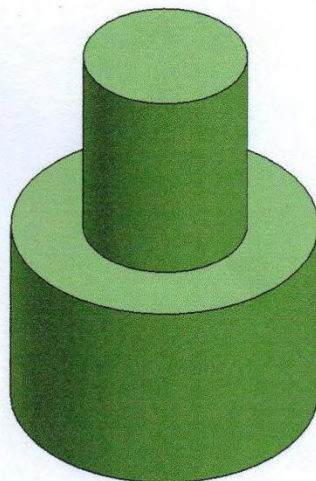
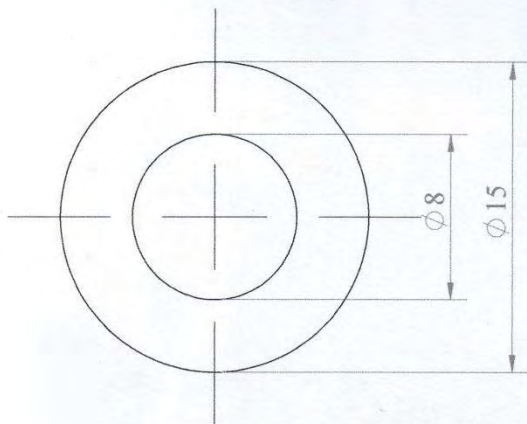
Peringatan

ITS

Pencengkeram Pin

Nomor :

A4



Skala : 4:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

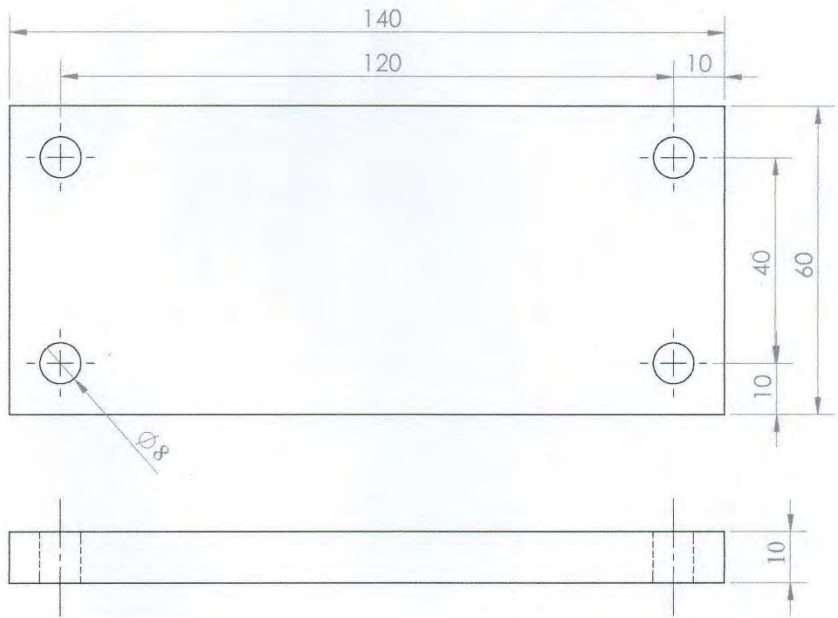
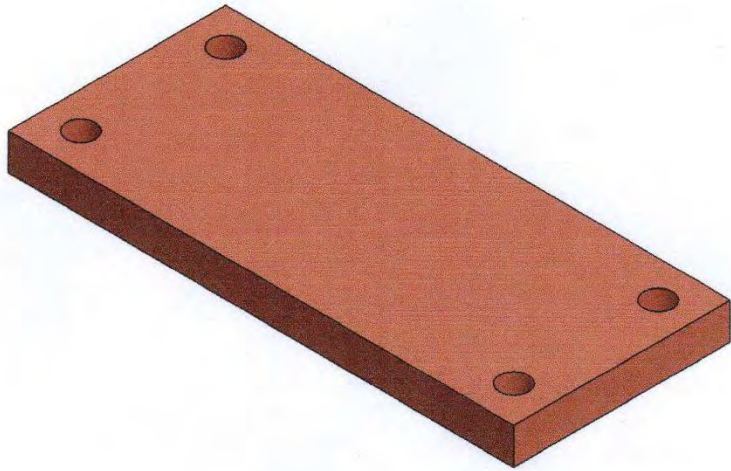
Peringatan

ITS

Spesimen Pin

Nomor :

A4



Skala : 1:1

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

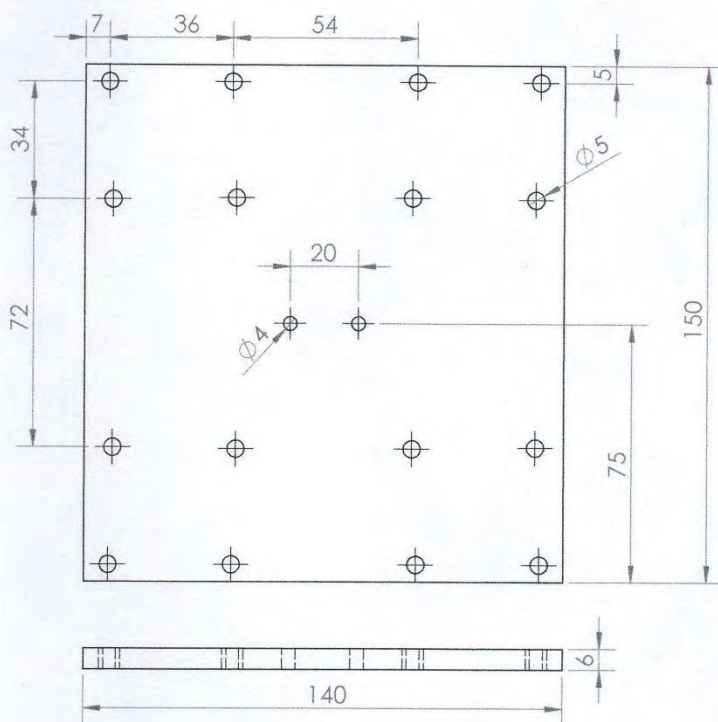
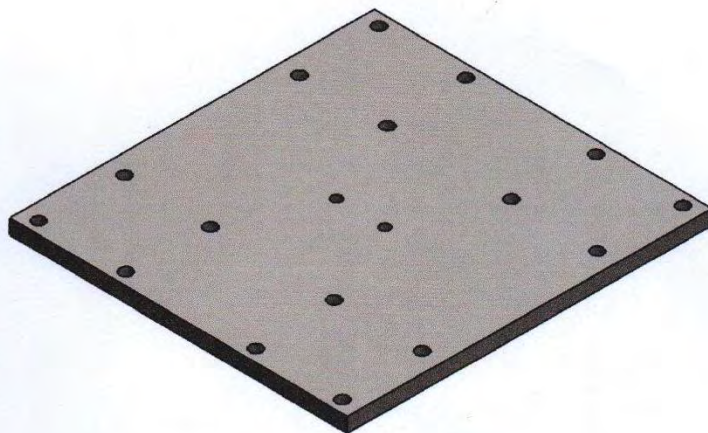
Peringatan

ITS

Spesimen Pelat

Nomor :

A4



Skala : 1:2

Satuan panjang : mm

Tanggal : 23 Juni 2015

Digambar : Kun Mukhammad Wafda

NRP : 2111106016

Dilihat : Ir. Yusuf Kaelani, Msc. E

Peringatan

ITS

Spesimen base

Nomor :

A4

BIODATA PENULIS



Kun Mukhammad Wafda dilahirkan di Kebumen, 14 Juli 1990. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Imron Munib dan Eliya Rizqiani.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Masyithoh di Kroya, Kab. Cilacap. Kemudian penulis meneruskan pendidikan di SD Negeri 1 Kroya. Saat menempuh jenjang sekolah menengah penulis meneruskan pendidikannya di SMP Negeri 3 Kebumen. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah di Kebumen, penulis kembali ke kampung halaman untuk meneruskan pendidikan tingkat atas. Penulis sempat bersekolah di SLTA Negeri 1 Kroya selama satu semester, dan pindah ke SMK 1 Ma'arif Kroya.

Setelah menyelesaikan pendidikan di SMK Ma'arif 1 Kroya, penulis meneruskan pendidikannya di Diploma Teknik Mesin UGM Yogyakarta.

Lulus dari Diploma Teknik Mesin UGM, penulis mengambil program Lintas Jalur S1 Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya pada Semester genap tahun 2011.

Email : kun.mukhammad@gmail.com